This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

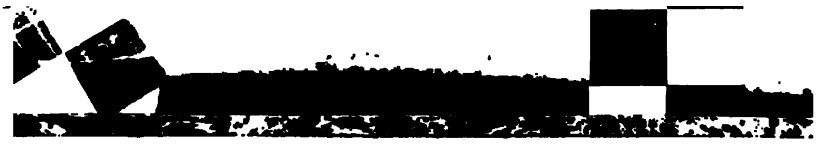
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

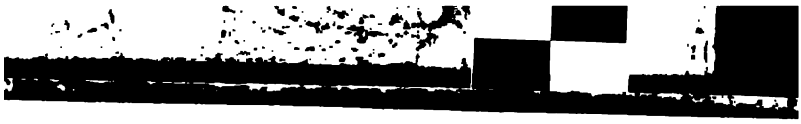
+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

Stanford University Libraries
3 6105 000 649 983





ANNALEN

DER

PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CIV.

ANNALEN

DER

PHYSIK

UND

CHEMIE.

VIERTE REIHE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

VIERZEHNTER BAND.

NEBST VIER KUPFERTAFELN UND EINER STEINDRUCKTAFEL.

LEIPZIG, 1858.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

ANNALEN

DER

PHYSIK

UND

CHEMIE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

HUNDERT UND VIERTER BAND.

DER GANZEN FOLGE HUNDERT UND ACHTZIGSTER.

NEBST VIER KUPFERTAFELN UND EINER STEINDRUCKTAFEL.

LEIPZIG, 1858.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

111549

Inhalt

des Bandes CIV der Annalen der Physik und Chemie

Erstes Stück.

Seite

I. Ueber den galvanischen Leitungswiderstand der Metalle bei verschiedenen Temperaturen; von A. Arndtsen 1

II. Von den Vertheilungs-Coëfficienten; von J. Bauschinger . . 58

III. Ueber die Zusammensetzung der in der Natur vorkommenden tantalsäurehaltigen Mineralien; von H. Rose 85

IV. Etwas über das Verhalten des Lithions in der Silikat-Analyse bei gleichzeitiger Gegenwart von Kali; von G. Jenzsch . . . 102

V. Fortgesetzte Beobachtungen über die elektrische Entladung durch gasverdünnte Räume; von Plücker 113

VI. Ueber die Rotation des elektrischen Lichts um die Pole eines Elektromagnets; von A. de la Rive 129

VII. Ueber die Modification der mittleren Löslichkeit einiger Salzatome und des mittleren Volums dieser Lösungen; von P. Kremers 133

Seite

VIII. Bemerkungen zu meinen elektrolytischen Untersuchungen; von G. Wiedemann 162

IX. Untersuchung über die Ausdehnung der Krystalle durch die Wärme; von F. Pfaff 171

X. Ueber den Unterschied der prismatischen Spectra des am positiven und negativen Pol im luftleeren Raume hervortretenden elektrischen Lichtes; von H. W. Dove 184

XI. Notiz über die innere konische Refraction; von P. Zech . . 188

XII. Ueber den Einfluſs des Drucks auf die chemische Affinität; von L. Meyer 189

XIII. Bemerkungen über phosphorsaures Kupferoxyd; von Bergemann 190

(*Geschlossen am* 19. *Juni* 1858.)

Zweites Stück.

I. Experimental-Untersuchungen über die Erscheinungen, welche die Ausbreitung von Flüssigkeiten auf Flüssigkeiten hervorruft; von P. du Bois-Reymond 193

II. Ueber die Beziehungen des im Eisenkern der Elektromagnete erregten Magnetismus zu den Dimensionen des Magnetkernes; von J. Dub 234

III. Zur mathematischen Theorie elektrischer Ströme; von E. Schering 266

IV. Ueber die Bewegung und Beschaffenheit der Atome; von R. Hoppe 279

V. Ueber das bei der Elektrolyse des Antimonchlorids an der Kathode sich ausscheidende, mit auffallenden Eigenschaften begabte Metall; von R. Böttger 292

VI. Ueber die Entblauung der Indiglösung durch saure Sulfite; von C. F. Schönbein 300

Seite

VII. Einige Bemerkungen über das elektromotorische Gesetz; von W. Beetz 305

VIII. Ueber das Niob; von H. Rose 310

IX. Elektroskopische Wirkung der Geifsler'schen Röhren; von P. Riefs 321

X. Ueber den Einfluſs des Binocularsehens bei Beurtheilung der Entfernung durch Spiegelung und Brechung gesehener Gegenstände; von H. W. Dove 325

XI. Bemerkungen über das Tyrit genannte Mineral; von A. Kenngott 330

XII. Gediegen Kupfer pseudomorph nach Aragonit; von E. Söchting 332

XIII. Beobachtungen der Bodentemperatur zu Freising; von Meister 335

(*Geschlossen am* 6. *Juli* 1858.)

Drittes Stück.

I. Ueber das Verhältniſs der Schwingungsrichtung des Lichts zur Polarisationsebene und die Bestimmung dieses Verhältnisses durch die Beugung; von F. Eisenlohr 337

II. Ableitung der Formeln für die Intensität des an der Oberfläche zweier isotropen Mittel gespiegelten, gebrochenen und gebeugten Lichtes; von Demselben 346

III. Ueber die Bahnlinien der Winde auf der sphäroïdischen Erde; von J. J. Baeyer 377

IV. Ueber den hydraulischen Druck von Wasser, welcher zwischen zwei Platten unter Wasser ausströmt; von Th. Reishaus . . 404

V. Ueber einige Bewegungs-Erscheinungen innerhalb des Schliefsungsbogens der galvanischen Kette; von A. Paalzow 413

VI. Ueber die Verbindungen von Chloraluminium mit den Chloriden des Schwefels, Selens und Tellurs; von R. Weber . . . 421

Seite

VII. Ueber das Niob; von H. Rose 432

VIII. Ueber eine Verbesserung an den Repetitionstheodolithen und den Nivellir-Instrumenten; von J. Heussi 443

IX. Ueber die täglichen Schwankungen des Windes; von L. Lose 449

X. Ueber einige Eigenschaften der linearen Verzweigung galvanischer Ströme; von J. Bosscha 460

XI. Ueber die Rinden der Meteorsteine; vom Freiherrn v. Reichenbach 473

XII. Ein Vorschlag zur Scheidung der Talkerde vom Natron und vom Kalk; vom Grafen F. G. Schaffgotsch 482

XIII. Ueber die Entstehung des Tones beim Brummkreisel; von H. Emsmann 490

XIV. Ueber die Interferenz zweier Stimmgabeln; von C. A. Grüel 491

XV. Akustische Notiz; von A. Arndtsen 496

(*Geschlossen am* 30. *August* 1858.)

Viertes Stück.

I. Ueber die Zusammensetzung des Titaneisens, sowie der rhomboëdrisch und octaëdrisch krystallisirten Eisenoxyde überhaupt; von C. Rammelsberg 497

II. Ueber directe und indirecte Zersetzung durch den galvanischen Strom; von G. Magnus 553

III. Ueber das Niobfluorid; von H. Rose 581

IV. Magnetische Untersuchungen, angestellt mit dem Diamagnetometer des Hrn. Prof. Weber; von A. Arndtsen 587

V. Ueber die Spannung des Dampfes von Mischungen aus Wasser und Schwefelsäure; von G. Kirchhoff 612

VI. Ueber einen neuen Gesichtspunkt, die Einwirkung des Magnets auf den elektrischen Strom betreffend; von Plücker 622

VII. Ueber die Wettersäule, welche am 10. Juni 1858 oberhalb Königswinter zwei Mal über den Rhein ging; von G. vom Rath 631

Seite

VIII. Ueber die Temperaturverhältnisse der Quellen 640

IX. Notiz betreffend den elektrischen Funken; von K. W. Knochenhauer 643

X. Ueber eine auffallende Lichterscheinung bei totaler Reflexion des Wolkenlichts nach Sonnen-Untergang; vom Fürsten zu Salm-Horstmar 647

XI. Intermittirende Fluorescenz; von J. Müller 649

XII. Ueber die Zunahme des elektrischen Leitungswiderstandes der einfachen Metalle mit der Temperatur; von R. Clausius . . 650

XIII. Ueber die Verhältnisse zwischen den Spannungen und Temperaturen der Dämpfe; von J. A. Groshans 651

XIV. Entgegnung auf eine Bemerkung von Hrn. Hoppe; von F. Eisenlohr 653

XV. Reklamation; von K. W. Knochenhauer 654

XVI. Ueber die Feuerkugel vom 4. August d. J. 655

XVII. Ueber das specifische Gewicht des Eises; von Meister . . 557

XVIII. Ein Vorschlag zur Steuerung des Luftballons; von H. Emsmann 658

(*Geschlossen am* 11. *September* 1858.)

Nachweis zu den Kupfertafeln.

Taf. I. — Arndtsen, Fig. 1, S. 3; Fig. 2, S. 14. — Kremers, Fig. 3, S 133; Fig. 4, S. 138.

Taf. II. — P. du Bois-Reymond, Fig. 1, S. 198; Fig. 2, S 199; Fig. 3, S. 202; Fig. 4, S. 204; Fig. 5, S. 211; Fig. 6, S. 112; Fig. 7, S. 113; Fig. 8, S. 115. — Pfaff, Fig. 9, S. 175; Fig. 10, S. 179; Fig. 11, S. 178; Fig. 12, S. 174.

Taf. III. — Eisenlohr, Fig. 1, S. 343. — Baeyer, Fig. 2, S. 385. — Heussi, Fig. 3, S. 445; Fig. 4 u. 5, S. 446. — Lose, Fig. 6, S 458; Fig. 7, S. 459.

Taf. IV. — Reishaus, Fig. 1, S. 404; Fig. 2, S. 405; Fig. 3, S. 405; Fig. 4, S. 408. — Paalzow, Fig. 5, S. 413; Fig. 6, S. 414. — Arndtsen, Fig. 7 u. 8, S. 589; Fig. 9, S. 590; Fig. 10, S. 609. — J. Müller, Fig. 11, S. 649.

Taf. V. — G. vom Rath, Fig. 1, S. 632; Fig. 2, 3, 4 u. 5, S. 635; Fig. 6, S. 636; Karte, S. 636

1858. ANNALEN No. 5.
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND CIV.

I. *Ueber den galvanischen Leitungswiderstand der Metalle bei verschiedenen Temperaturen;*

von Adam Arndtsen,
Adjunkt für Physik an der Universität zu Christiania.

Meines Wissens war Lenz[1]) der Erste, der über den Einfluſs der Temperatur auf die galvanische Leitungsfähigkeit der Metalle eine genauere Untersuchung ausführte. Aus dieser Untersuchung geht hervor, daſs im Allgemeinen die Leitungsfähigkeit abnimmt, oder, was dasselbe ist, der Leitungswiderstand mit der Temperatur zunimmt (was übrigens schon früher bekannt war) sowie auch, daſs die Leitungsfähigkeit bei irgend einer Temperatur t durch die Gleichung

$$w_t = x - yt + zt^2$$

ausgedrückt werden kann, wo w_t das Leitungsvermögen, x, y und z Constanten bezeichnen.

Hinsichtlich der von Lenz in Anwendung gebrachten Untersuchungsmethode muſs ich auf die citirten Abhandlungen hinweisen. Nur will ich hier einen Umstand etwas näher betrachten, der meines Erachtens nicht ganz unwesentliche Fehler bewirken muſste. Die Drähte, die untersucht werden sollten, wurden nämlich spiralförmig auf Glasröhren aufgewickelt und dann direct in ein Oelbad gestellt, um eine bestimmte Temperatur zu haben. Besaſs nun das Oel, was wirklich auch der Fall ist, einen gewissen Grad von Leitungs-

1) Pogg. Ann. der Physik u. Chem. Bd. XXXIV, S. 418 u. Bd. XLV, S. 105.

vermögen für Elektricität, so versteht sich von selbst, dafs ein Theil des elektrischen Stromes, der ungetheilt durch den untersuchten Draht gehen sollte, nach bekanntem Gesetze direct von einer Windung zur anderen durch das Oel geleitet ward, was sich in dem gewonnenen Resultat als ein etwas zu grofses Leitungsvermögen zeigen mufste. So lange man nur die Leitungsfähigkeit bei einer und derselben Temperatur untersucht, können die begangenen Fehler als constante angesehen werden, — und dieselben haben also keinen merklichen Einflufs auf die Verhältnifszahlen der Leitungsfähigkeiten der verschiedenen Metalle. Will man dagegen das Leitungsvermögen bei verschiedenen Temperaturen vergleichen, so kommt noch eine neue Fehlerquelle hinzu; es ist nämlich bekannt, dafs das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten mit der Temperatur zunimmt; — je wärmer also das Oel wird, desto gröfser wird auch der Theil des galvanischen Stroms, der direct durch dasselbe durchgeleitet wird. Bei höheren Temperaturen begeht man also in dieser Weise einen gröfseren Fehler als bei den niedrigen, was vielleicht zu dem in Lenz's Formeln vorkommenden quadratischen Gliede Anlafs gegeben haben könnte.

Aufser Lenz hat auch E. Becquerel denselben Gegenstand untersucht (s. Pogg. Annal. d. Phys. und Chem. Bd. LXX, S. 243), und derselbe fand, dafs die Abnahme der Leitungsfähigkeit mit der Zunahme der Temperatur proportional ist, oder mit anderen Worten, dafs der Widerstand für jeden Temperaturgrad um gleich viel zu- oder abnimmt. Dieses Gesetz scheint jedoch von Becquerel ohne ganz sichere Begründung ausgesprochen zu seyn; wenigstens sieht man, dafs die nach dieser Voraussetzung berechneten Werthe mit den beobachteten nicht sehr gut stimmen.

Endlich hat sich auch Müller in Halle etwas mit demselben Gegenstand beschäftigt (s. Pogg. Ann. Bd. LXXIII, S. 434), speciell in der Absicht, einen Zusammenhang zwischen der Zunahme des Leitungswiderstandes und der der specifischen Wärme nachweisen zu können. Müller hat selbst

nur Eisen, Zink und Quecksilber untersucht, und gefunden, dafs der Widerstand dieser Metalle so ziemlich proportional mit der Temperatur zunimmt. Hinsichtlich der Untersuchungen sowohl von Becquerel als von Müller gilt dieselbe Bemerkung, die schon bei denen von Lenz gemacht ward; die untersuchten Drähte wurden nämlich von Beiden direct in ein Oelbad gestellt.

Da es mir vorkam, als wäre diese Frage nicht vollständig beantwortet worden, so beschlofs ich mit der möglichsten Genauigkeit und Sorgfalt eine Untersuchung über den Leitungswiderstand von verschiedenen Metallen bei verschiedenen Temperaturen anzustellen; und ich hoffe, dafs die gewonnenen Resultate, welche in den folgenden Blättern enthalten sind, etwas Brauchbares darbieten werden.

Die von mir benutzte Methode wird erläutert durch Fig. 1 Taf. I, die die Anordnung der gebrauchten Apparate schematisch vorstellt. *A A* ist ein sogenannter (Wheatstone's) Differential-Widerstandsmesser, den ich mir zu diesen Untersuchungen einrichtete; *a*, *b*, *c* und *d* sind Schrauben, die unter einander und mit den übrigen Instrumenten, so wie die Figur zeigt, verbunden waren. Zwischen *a b* und *b c* waren zwei Stücke von demselben Draht (Kupfer) eingeschaltet, von welchen das Stück *b c* genau 10 Mal länger als *a b* war. Der Draht *L*, dessen Widerstand gemessen werden sollte, wurde zwischen *a* und *d* eingeschaltet, ferner ein gewöhnlicher Wheatstone'scher Rheostat *R* zwischen *d* und *c*, so wie ein sehr empfindlicher Multiplicator mit astatischem Nadelpaar zwischen *b* und *d*; endlich wurden die Poldrähte eines schwachen galvanischen Bechers mit *a* und *c* verbunden, so dafs sich der Strom nach bekannten Gesetzen theilen und den Multiplicatordraht in zwei entgegengesetzte Richtungen durchströmen mufste. Durch den Rheostat wurden diese beiden Ströme zu derselben Intensität gebracht, so dafs die Galvanometernadel in dem magnetischen Meridian in Ruhe beharren konnte. Darauf wurde der Draht E eingeschaltet, indem die beiden Verbindungsdrähte unmit-

telbar mit einander verbunden wurden, und der Rheostat um so viel Mal zurückgedreht, bis wieder die Magnetnadel in dem Meridian im Gleichgewicht war. Auf diese Weise wurde also zunächst der Widerstand E in Rheostatwindungen ausgedrückt. Da indessen $bc = 10ab$ war, so war nach bekannten Gesetzen die abgelesene Anzahl der Rheostatwindungen 10 Mal gröfser, oder mit anderen Worten, die Empfindlichkeit des Apparats dadurch 10 Mal vergröfsert.

Damit der untersuchte Draht nicht eine merkliche Erwärmung durch den galvanischen Strom erleide, wurde in den einen Poldraht ein ganz einfacher Schlüssel N eingeschaltet, durch welchen der Strom jedesmal nur wenige Augenblicke geschlossen wurde.

Hinsichtlich der Anbringung der Drähte habe ich immer die gröfste Sorgfalt verwendet. Dieselben wurden nämlich mit Seide sehr gut isolirt und dann auf ein gewöhnliches Reagenzgläschen gewickelt; die beiden freien Enden wurden an zwei kurze und dicke Kupferdrähte gelöthet, die durch einen Kork hindurchgesteckt waren, und mit zwei kleinen Quecksilbernäpfchen versehen, zur leichten Herstellung einer möglichst vollkommnen Verbindung mit dem Differential-Widerstandsmesser. Durch die Mitte des Korkes war ferner ein genaues Normalthermometer von Greiner in Berlin hineingesteckt, so dafs die Thermometerkugel sich innerhalb der Drahtwindungen befand. Der so aufgewickelte Draht wurde nun in ein etwas gröfseres Reagenzglas gestellt, und dieses wieder auf verschiedene Weise angebracht, nachdem eine höhere oder niedrigere Temperatur beabsichtigt ward. In der Regel wurde der so gut beschützte und isolirte Draht in einen mit Oel oder Wasser gefüllten Blechcylinder gebracht, dessen Temperatur durch eine Weingeist- oder Gaslampe möglichst constant gehalten wurde.

Die Länge, so wie auch der Durchmesser der untersuchten Drähte wurde immer mit Genauigkeit gemessen (der letzte durch ein vorzügliches Lamellometer von Gambey in Pa-

ris, mit welchem man direct Tausendstel eines Millimeters messen kann) und dann die Länge auf den Durchmesser $= 1^{mm}$ reducirt.

Als Rheomotor benutzte ich 1 oder 2 gewöhnliche Daniell'sche Elemente, oder auch 1 bis 2 Zink-Kupfer-Elemente mit Alaun und Kupfervitriol gefüllt, welche Combination sich durch eine constante Wirkung vorzüglich auszeichnet.

Die Messungen wurden nun folgenderweise ausgeführt: nachdem der Draht die beabsichtigte Temperatur angenommen hatte, wurde der Rheostat so lange gedreht, bis die Galvanometernadel bei der Schliefsung des Stromes keinen Ausschlag mehr machte; dann wurde der Draht eingeschaltet und der Rheostat zurückgedreht, bis wieder die Nadel bei Schliefsung des Stromes in Ruhe beharrte. Zum zweiten Mal wurde der Draht wieder eingeschaltet und sofort mehrmals bei einer und derselben Temperatur, sowie die folgenden Tabellen anzeigen.

Während einer solchen zusammenhängenden Beobachtungsreihe war es nicht immer möglich die Temperatur vollkommen unveränderlich zu halten; es wurde deshalb aus den zu einem Satz gehörenden Temperaturen und Widerständen das Mittel genommen, was ganz zulässig war bei den kleinen Temperaturschwankungen, die in Betracht kamen. Zugleich wurde auch die Lufttemperatur beobachtet, um den Einfluſs derselben auf den Widerstand des Rheostatdrahtes eliminiren zu können.

Anmerk. Da der Rheostatdraht aus Argentan gezogen war, und da der Widerstand dieses Leiters (was später nachgewiesen werden soll) sich wenig mit der Temperatur ändert, so ergab sich später diese Correction als unnöthig.

Erste Reihe. Kupferdraht.

Länge $= 12000^{mm}$; Durchmesser $= 0^{mm},513$; Reducirte Länge $= 45598^{mm}$ [1]).

τ	t	w	τ	t	w
+ 16,6	− 0,45	5,225	+ 17,2	− 0,19	5,227
17,8	0,19	5,226	18,0	0,07	5,222
18,0	0,07	5,224	18,0	0,01	5,227
15,9	+ 0,09	5,234	16,0	+ 0,09	5,230
16,9	0,09	5,221	17,0	0,09	5,229
17,3	0,09	5,229	—	—	—
17,4	0,11	5,221	16,9	0,09	5,222

Mittel: $w = 5,225$
$t = + 0,01$

τ	t	w	τ	t	w
15,6	5,50	5,346	16,8	5,56	5,346
17,2	5,62	5,338	17,8	5,86	5,348
18,0	5,86	5,349	18,2	6,26	5,363

Mittel: $w = 5,348$
$t = 5,77$

τ	t	w	τ	t	w
17,9	11,35	5,452	18,0	11,48	5,463
18,5	11,47	5,460	18,8	11,64	5,463
18,8	11,66	5,465	18,9	11,82	5,468

Mittel: $w = 5,462$
$t = 11,57$

τ	t	w	τ	t	w
17,5	14,58	5,526	17,4	14,86	5,528
17,2	14,88	5,530	17,8	14,80	5,526
18,0	14,78	5,523	18,2	14,80	5,526

Mittel: $w = 5,526$
$t = 14,78$

1) In den folgenden Tabellen bezeichtet τ die Lufttemperatur, t die Temperatur des Drahtes und w die gemessenen Widerstände.

τ	t	w	τ	t	w
20,0	19,97	5,638	20,0	19,97	5,633
20,0	20,00	5,633	20,0	19,97	5,630
20,0	19,97	5,631	20,0	19,93	5,630

Mittel: $w = 5,633$
$t = 19,97$

τ	t	w	τ	t	w
18,7	24,82	5,736	18,9	24,72	5,739
18,9	24,70	5,739	18,8	24,74	5,742

Mittel: $w = 5,739$
$t = 24,74$

τ	t	w	τ	t	w
18,3	29,86	5,835	17,0	29,66	5,836
16,7	29,87	5,842	16,8	30,04	5,844

Mittel: $w = 5,839$
$t = 29,86$

τ	t	w	τ	t	w
20,4	39,53	6,015	20,5	39,73	6,021
20,1	39,73	6,018	19,0	39,43	6,012

Mittel: $w = 6,016$
$t = 39,60$

τ	t	w	τ	t	w
19,5	49,53	6,226	19,6	49,51	6,227
18,4	49,58	6,227			

Mittel: $w = 6,227$
$t = 49,53$

τ	t	w	τ	t	w
19,8	100,13	7,295	18,9	100,03	7,295
20,7	100,13	7,298	20,0	100,08	7,291
19,9	100,03	7,293	19,9	100,08	7,290
20,0	10013	7,291	20,0	100,03	7,292

Mittel: $w = 7,293$
$t = 100,07$

Als Resultat aus den angeführten Messungen geht also der Widerstand des Kupferdrahtes bei den verschiedenen Temperaturen, wie folgt, hervor:

0°,01 C.	= 5,225
5 ,77	= 5,348
11 ,57	= 5,462
14 ,78	= 5,526
19 ,97	= 5,633
24 ,74	= 5,739
29 ,86	= 5,839
39 ,60	= 6,016
49 ,53	= 6,227
100 ,07	= 7,293

Schon beim ersten Anblick sieht man hier, wie der Widerstand regelmäfsig mit der Temperatur zugenommen hat. Vorausgesetzt, dafs derselbe wirklich proportional mit der Temperatur zunimmt, oder dafs die Zunahme des Widerstandes für jeden Grad bei allen Temperaturen dieselbe ist, müfste immer eine constante Gröfse hervorgehen, wenn man die Differenz zwischen zwei verschiedenen Widerständen mit der Differenz der beiden entsprechenden Temperaturen dividirt. Führt man diese Rechnung aus, so ergiebt sich die Zunahme des Widerstandes für 1° C. Temperaturerhöhung

zwischen	0,01	und	5,77	= 0,02137
	5,77	»	11,57	= 0,01965
	11,57	»	14,78	= 0,01994
	14,78	»	19,97	= 0,02061
	19,97	»	24,74	= 0,02222
	24,74	»	29,86	= 0,01953
	29,86	»	39,60	= 0,01815
	39,60	»	49,53	= 0,02127
	49,53	»	100,07	= 0,02109.

Freilich sind diese Werthe nicht vollkommen übereinstimmend; allein man sieht auch auf der anderen Seite keine Spur zu einer regelmäfsigen Abnahme derselben bei wachsenden Temperaturen, was nothwendig der Fall seyn müfste, wenn die von Lenz aufgestellten Formeln für den vorliegenden Draht ihre Gültigkeit hätten. Die Nichtübereinstimmungen welche hier stattfinden, sind nicht gröfser, als dafs

man sie auf Rechnung der Beobachtungs- und anderen unvermeidlichen Fehlern schreiben kann, und das um so mehr, als genauere quantitative Untersuchungen dieser Art mit nicht geringen Schwierigkeiten verknüpft sind.

Schon diese erste Beobachtungsreihe führt also zu dem Gedanken, dafs der Leitungswiderstand, wenigstens was das Kupfer bei Temperaturen zwischen 0° und 100° betrifft, proportional mit der Temperatur wächst, und dafs man also den Widerstand w bei irgend einer Temperatur t (zwischen den genannten Gränzen) durch die Gleichung.

$$w_t = \alpha + \beta t$$

ausdrücken kann, wo α und β constante Gröfsen sind, und zwar α der Widerstand bei 0° C. Berechnet man nach dieser Voraussetzung aus den vorliegenden Datis (nach der Methode der kleinsten Quadrate) die wahrscheinlichsten Werthe von α und β, so ergiebt sich

$$\alpha = 5{,}222,$$
$$\beta = 0{,}02058,$$

und also

$$w_t = 5{,}222 + 0{,}02058 \,.\, t.$$

Wenn man nach dieser Formel die verschiedenen Leitungswiderstände berechnet, so ergeben sich Werthe, die, wie folgende Tafel zeigt, sehr gut mit den beobachteten übereinstimmen:

	w_t		
t	berechn.	beobacht.	Diff.
0,01	5,222	5,225	+ 0,003
5,77	5,340	5,348	+ 0,008
11,57	5,460	5,462	+ 0,002
14,78	5,526	5,526	0,000
19,97	5,633	5,633	0,000
24,74	5,731	5,739	+ 0,008
29,86	5,836	5,839	+ 0,003
39,60	6,037	6,016	— 0,021
49,53	6,211	6,227	— 0,014
100,07	7,281	7,293	+ 0,012

Hinsichtlich des untersuchten Drahtes mufs noch hinzugefügt werden, dafs derselbe aus ziemlich reinem Kupfer bestand. Hr. H. Strecker in Christiania hatte die Gütte eine quantitative Analyse desselben auszuführen, wodurch in 2724 Milligrm. Kupfer nur 2,8 Milligrm. Eisen gefunden wurden.

Zweite Reihe. Platin.

Länge = 3457^{mm}; Durchmesser = 0^{mm},6866;
Reducirte Länge = 7335^{mm}.

τ	t	w	τ	t	w
21,2	+ 0,30	5,701	21,2	+ 0,25	5,706
21,25	0,25	5,705	21,6	0,35	5,704
21.8	0,35	5,703	22,2	0,20	5,702

Mtttel w = 5 ,703
t = + 0°,28.

τ	t	w	τ	t	w
23,2	10,02	5,880	22,8	10,00	5,884
22,9	10,00	5,886	22,9	10,00	5,882
22,8	10,00	5,881	22,8	10,02	5,890

Mittel w = 5,883
t = 10,01.

τ	t	w	τ	t	w
21,0	18,20	6,044	21,0	18,30	6,059
21,5	18,30	6,052	21,7	18,40	6,055
22,0	18,40	6,052	22,1	18,45	6,054

Mittel w = 6,052
t = 18,34.

τ	t	w	τ	t	w
20,3	30,05	6,279	20,4	30,10	6,268
20,4	30,10	6,272	20,4	30,03	6,284
20,6	30,03	6,276	20,5	30,00	6,279

Mittel w = 6,276
t = 30,05.

τ	t	w	τ	t	w
20,5	35,25	6,353	20,5	35,00	6,356
20,5	35,15	6,355	20,7	35,30	6,358
20,7	35,30	6,357	20,8	35,25	6,351

Mittel $w = 6,355$
$t = 35°,20.$

τ	t	w	τ	t	w
20,9	41,30	6,478	21,0	41,10	6,465
21,1	41,10	6,465	21,3	41,15	6,466
21,4	41,15	6,469	21,4	41,15	6,465

Mittel $w = 6,468$
$t = 41,15.$

τ	t	w	τ	t	w
22,8	61,35	6,826	22,9	61,25	6,825
22,9	61,25	6,825	23,0	61,10	6,824
23,0	61,10	6,824	23,0	61,15	6,822
23,0	61,15	6,821	23,0	61,10	6,822

Mittel $w = 6,823$
$t = 61,18.$

τ	t	w	τ	t	w
24,8	75,80	7,096	24,5	76,05	7,115
24,4	76,05	7,116	24,2	75,73	7,094
24,1	75,73	7,095	24,2	76,20	7,098
24,1	76,00	7,100	24,0	76,30	7,113

Mittel $w = 7,103$
$t = 75,98.$

τ	t	w	τ	t	w
17,0	100,50	7,619	17,3	100,55	7,620
17,2	100,55	7,621	17,1	100,55	7,600
17,7	100,05	7,585	17,8	100,00	7,597
17,5	100,00	7,596	17,6	99,95	7,599
18,0	100,00	7,576	18,0	100,10	7.596
17,9	100,10	7,598		100,10	7,588

Mittel $w = 7,599$
$t = 100°,21.$

τ	t	w	τ	t	w
23,7	123,00	7,974	23,8	124,10	8,010
23,8	124,10	8,014	23,8	123,30	7,996
23,9	123,30	7,994	24,0	124,03	8,000
24,5	124,03	7,998	24,8	124,10	8,007

Mittel $w = 7{,}999$
$t = 123{,}75.$

Stellt man der besseren Uebersicht halber die gemessenen Widerstände zusammen, so hat man also,

den Widerstand bei $+0°{,}28$ C. $= 5{,}703$
$10\ ,00 = 5{,}883$
$18\ ,34 = 6{,}052$
$30\ ,05 = 6{,}276$
$35\ ,20 = 6{,}355$
$41\ ,15 = 6{,}468$
$61\ ,18 = 6{,}823$
$75\ ,98 = 7{,}103$
$100\ ,21 = 7{,}599$
$123\ ,75 = 7{,}999,$

und berechnet man hiernach wie früher die Zunahme des Widerstandes für einen Temperaturgrad, so finden sich folgende Werthe;

zwischen 0,28 und 10,00 = 0,01852
10,00 » 18,34 = 0,02026
18,34 » 30,05 = 0,01913
30,05 » 35,20 = 0,01534
35,20 » 41,15 = 0,01899
41,15 » 61,18 = 0,01772
61,18 » 75,98 = 0,01892
75,98 » 100,21 = 0,02047
100,21 » 123,75 = 0,01699.

Auch hier sieht man keine Andeutung zu einer regelmäfsigen Abnahme des Widerstandszuwachses bei höheren Temperaturen. Der Widerstand des Platins mufs also auch (wenigstens zwischen den untersuchten Temperaturgränzen) durch die einfache Gleichung: $w_t = \alpha + \beta t$ ausgedrückt wer-

den können, oder, wenn man statt α und β die wahrscheinlichsten Werthe derselben setzt, durch die Gleichung:

$$w_t = 5{,}701 + 0{,}01864 \,.\, t.$$

Werden hiernach die Widerstände berechnet, so erhält man Werthe, die, wie die folgende Tafel zeigt, nicht mehr von den beobachteten abweichen, als man nach der Natur der Sache erwarten konnte:

	t	w_t berechn.	beobacht.	Diff.
+	0,28	5,706	5,703	— 0,003
	10,00	5,887	5,883	— 0,004
	18,34	6,043	6,052	+ 0,009
	30,05	6,261	6,276	+ 0,015
	35,20	6,357	6,355	— 0,002
	41,15	6,468	6,468	0,000
	61,18	6,841	6,823	— 0,018
	75,98	7,117	7,103	— 0,014
	100,21	7,569	7,599	+ 0,030
	123,75	8,008	7,999	— 0,009

Wenn man den Widerstand des Platins bei 0° C. = 100 annimmt, so ergiebt sich:

$$w_t = 100 + 0{,}32724 \,.\, t,$$

während für *Kupfer* (der Widerstand derselben bei 0° ebenfalls = 100 angenommen):

$$w_t = 100 + 0{,}394025 \,.\, t$$

ist, woraus man sieht, dafs die Wärme einen etwas gröfseren Einflufs auf den Widerstand des Kupfers als auf den des Platins ausübt. Setzt man ferner den Widerstand des Kupfers bei 0° = 100, so ist für Platin (wenn die beiden Drähte auf dieselbe Länge und Dicke reducirt sind):

$$w_t = 678{,}108 + 2{,}21904 \,.\, t.$$

Dieser von mir gefundene Werth des Widerstandes des Platins stimmt mit dem von Prof. Riefs angegebenen = 644 ziemlich gut überein, während E. Becquerel (*Ann. d. Chim. et d. Phys. T. XVII, p.* 242) eine bedeutend gröfsere Zahl, nämlich 1099 bis 1108, dafür angiebt. Nach Lenz (s. oben citirte Abhandlungen) ist die Leitungsfähigkeit des

Platins, die des Kupfers gleich 100 angenommen, bei $0° = 14{,}16$, was für den Widerstand die Zahl 706,21 giebt. Der von mir gefundene Werth liegt also fast genau in der Mitte zwischen den von Riefs und Lenz angegebenen.

Die beiden eben beschriebenen Versuchsreihen hatte ich im letzten Frühjahr in dem physikalischen Kabinet zu Christiania ausgeführt. Während meines Aufenthaltes bei Hrn. Prof. W. Weber in Göttingen habe ich seit der Mitte des Sommers diese Untersuchungen mit mehreren anderen Metallen nach einer etwas modificirten Methode fortgesetzt, die ich deshalb zuerst kürzlich beschreiben will.

Anstatt eines gewöhnlichen Multiplicators stand mir ein Spiegelgalvanometer mit zwei Drähten zur Disposition, welches, wie bekannt einen ungemein höheren Grad von Genauigkeit und Feinheit gewährt. In Fig. 2 Taf. I, die die Anordnung der benutzten Apparate schematisch andeutet, stellt A das Galvanometer, m die mit Spiegel versehene Magnetnadel desselben, und a und b die zwei Multiplicatordrähte vor. Der Stand und die Ausschläge der Magnetnadel wurden wie bei den gewöhnlichen Magnetometern mit Hülfe eines Fernrohrs und einer Scale F beobachtet.

Ferner bediente ich mich, anstatt eines Rheostates, eines Kupferdrahts ce, welcher auf einem Brett R mehrmals hin und her ausgespannt war; unter dem Draht war auf dem Brett eine Eintheilung in Millimeter angebracht. Diesen Kupferdraht will ich der Kürze wegen im Folgenden den *Mefsdraht* nennen, weil die Widerstände durch eine bestimmte Länge dieses Drahtes zunächst ausgemessen wurden. Von dem Rheomotor B, der aus einem einzelnen Grove'schen Element bestand, wurde der Strom so getheilt, dafs er die zwei Galvanometerdrähte in entgegengesetzten Richtungen durchlaufen mufste, während der Draht L, dessen Widerstand gemessen werden sollte, in den einen, und der Mefsdraht in den andern Stromzweig eingeschaltet war. Mit Hülfe einer losen Klemmschraube d konnten kürzere oder

längere Stücke des Meſsdrahtes eingeschaltet und dadurch die beiden Stromzweige auf gleiche Intensität gebracht werden, so daſs ihre Wirkung auf die Magnetnadel wechselseitig aufgehoben wurde. Um die Unveränderlichkeit der Stromstärke controliren zu können, wurde der Strom, ehe er getheilt war, durch eine groſse Multiplicatorrolle *M* geleitet, die in der Nähe eines kleinen Magnetometers als Ablenkungsstab aufgestellt war. Endlich wurde noch in den einen Poldraht ein Quecksilberschälchen *P* eingeschaltet, wodurch die Schlieſsung oder Unterbrechung des Stromes mit Schnelligkeit bewerkstelligt werden konnte.

Die Messungen wurden nun auf folgende Weise ausgeführt: nachdem die Verbindungsdrähte *o* und *p* unmittelbar mit einander verbunden worden, der Widerstand *L* also ausgeschaltet war, wurde die Länge *A* des Meſsdrahtes aufgesucht, die eingeschaltet werden muſste, um die beiden Stromzweige auf dieselbe Intensität zu bringen, so daſs die Galvanometernadel in Ruhe beharrte. Nachdem nun der untersuchte Widerstand *L* in die Leitung zwischen *o* und *p* eingeschaltet worden war, muſste ein längeres Stück *B* des Meſsdrahtes in den anderen Stromzweig eingeschaltet werden, damit die Nadel wieder in Ruhe beharren konnte, und es wurde so zunächst der Widerstand in einer bestimmten Länge gleich $B - A$ des Meſsdrahtes ausgedrückt.

Da es indessen etwas zeitraubend war, die Länge des Meſsdrahtes direct aufzusuchen, die genau mit dem gemessenen Widerstand aequivalirte, so brauchte ich das folgende Verfahren, was auf der einen Seite nicht so viel Zeit kostete, und auf der andern eine gröſsere Sicherheit und Genauigkeit gewährte; zuerst wurde nämlich ein etwas zu langes Stück des Meſsdrahtes eingeschaltet, so daſs die Magnetnadel bei Schlieſsung der Kette einen Ausschlag z. B. nach gröſseren Zahlen machte, und darauf ein etwas zu kurzes Stück, so daſs ein Ausschlag nach der entgegengesetzten Seite nach kleineren Zahlen folgte.

Nennt man nun die zuerst eingeschaltete Länge (die zu groſs war) *a*, und den ihr entsprechenden Ausschlag *b*;

die hernach eingeschaltete Länge (die zu klein war) c und den zugehörigen Ausschlag d, so ist:

$$(a - x) : b = (x - c) : d,$$

und daraus

$$x = \frac{ad + bc}{b + d},$$

wenn x die Länge des Mefsdrahtes bedeutet, die eben eingeschaltet werden mufste, damit die Nadel in vollkommener Ruhe beharren konnte. Bei jeder einzelnen Versuchsreihe wurde nun a und c mehrere verschiedene Werthe gegeben, woraus eben so viele für b und d hervorgingen; aus dem Mittel dieser Werthe für a, b, c und d wurde nun nach der obigen Formel x berechnet; und zwar wurde erstens der Werth von x bestimmt, während der Draht, dessen Widerstand gemessen werden sollte, noch ausgeschaltet war, zweitens, nachdem derselbe eingeschaltet, und endlich drittens, nachdem er wieder ausgeschaltet war. Das Mittel aus dem ersten und dritten, von dem zweiten abgezogen, gab dann den gesuchten Widerstand. Im Folgenden will ich mit x den Werth von x_i bezeichnen, welcher sich ergab, als L ausgeschaltet war, und mit x_{ii} denjenigen, während L eingeschaltet war. ($x_{ii} - x_i$ ist also der Widerstand, den ich mit w_i bezeichnen will.)

Die so gefundenen Werthe der Widerstände müssen noch, ehe sie mit einander verglichen werden können, reducirt werden. Da nämlich der specifische Widerstand des Mefsdrahtes sich fortwährend mit der Lufttemperatur ändert, so geht hervor, dafs das zum Grunde gelegte Maafs des Widerstandes immer Veränderungen unterworfen ist, so dafs es jedesmal nöthig ist, die abgemessene Länge des Mefsdrahtes auf eine bestimmte Temperatur desselben, 0° C., zu reduciren. Bezeichnen wir die bei der Temperatur t gemessene Länge mit l_t, und mit l_0 diejenige, die man gefunden haben müfste, wenn die Temperatur 0° wäre, so hat man (da zufolge der vorhergehenden achten Versuchsreihe der Widerstand des Kupfers bei $t° = 100 + 0{,}391025 . t$ ist, wenn man den Widerstand bei 0° $\doteq$ 100 setzt):

$$l^0 : l_t = (100 + 0{,}394025 \,.\, t) : 100,$$

und daraus:

$$l_0 = l_t(1 + 0{,}00394025 \,.\, t).$$

Nach dieser Formel sind nun immer die gemessenen Widerstände auf 0° C. des Meſsdrahtes reducirt worden, diese reducirten Werthe werden im Folgenden mit w bezeichnet.

Ich gehe nun zur Anführung der Messungen über:

Dritte Reihe. Silber.

Durch die Güte des Hrn. Prof. Wicke in Göttingen erhielt ich ein Stück chemisch reinen Silbers, aus dem ein Draht gezogen wurde, dessen Länge = 3638^{mm}, dessen Durchmesser = 0^{mm},6735 und dessen reducirte Länge = 8020^{mm} war.

No. 1. *a.* Draht ausgeschaltet.

			a	*b*	*c*	*d*	x_t
der Einschaltung des Drahtes.	*vor*		78,3	6,25	33,9	2.50	
			79,1	6,47	33,9	2,54	
		Mittel =	78,7	6,36	33,9	2,52	46,61
	nach		78,8	6,21	32,1	2,90	
			84,2	7,38	32,1	2,90	
			84,2	7,41	31,9	2,80	
		Mittel =	82,4	7,00	32,03	2,87	46,67

b. Draht eingeschaltet.

τ	t	*a*	*b*	*c*	*d*	
23,5	0,50	718,9	2,18	652,6	8,90	
23,6	0,45	718,9	2,18	670,9	6,10	
23,8	0,50	726,4	3,32	670,9	6,15	
23,9	0,50	726,4	3,30	666,2	6,67	
23,9	0,50	716,8	1,80	666,2	6,75	
24,0	0,50	716,0	1,80	675,5	5,09	
24,1	0,60	519,7	2,21	675,5	5,09	
24,1	0,55	719,7	2,22	676,7	4,92	
23,9	0,51	720,45	2,38	669,31	6,21	= Mittel

$x^0 = 706{,}28$; $x' = 46{,}64$; $w' = 659{,}64$; $w = 721{,}71$.

No. 2. (Der Werth für x_i genau derselbe wie in No. 1).
b, Draht eingeschaltet.

τ	t	a	b	c	d	
24,80	9,70	761,6	6,29	685,9	6,61	
24,85	9,70	752,0	4,59	685,9	6,62	
24,90	9,95	752,0	4,49	702,2	3,82	
25,00	9,96	743,0	3,00	702,2	3,87	
25,00	9,95	743,0	3,05	705,9	3,23	
25,00	10,00	741,2	2,60	705,9	3,30	
24,93	9,88	748,8	4,00	698,0	4,58	= Mittel

$x_u = 725{,}87$; $x_i = 46{,}64$; $w_i = 679{,}23$; $w = 745{,}95$.

No. 3 *a*

	a	b	c	d	x_i
(vor)	84,5	8,10	31,9	2,52	
	84,5	8,09	34,5	2,12	
	83,0	8,42	34,5	2,18	
	83,0	8,46	40,1	0,25	
Mittel	83,75	8,27	35,25	1,77	43,80
(nach)	70,08	5,41	31,0	2,78	
	70,08	5,49	25,2	3,98	
Mittel	70,08	5,45	28,1	3,38	44,17
				Mittel =	43,98

b.

	τ	t	a	b	c	d
	24,8	16,60	784,7	8,55	706,7	4,75
	24,9	16,30	782,6	8,19	706,7	4,78
	24,9	16,25	782,6	8,15	711,0	4,20
	24,9	16,35	780,6	7,65	711,0	4,31
	24,9	16,45	780,6	7,59	718,3	3,10
	24,8	16,15	774,7	6,58	718,3	3,15
Mittel =	24,87	16,35	780,97	7,78	710,29	4,48

$x_u = 736{,}11$; $x_i = 43{,}98$; $w_i = 692{,}13$; $w = 759{,}95$.

No. 4 *a*.

	a	b	c	d	x_i
(vor)	30,7	5,1	1,6	0,90	
	21,2	3,3	3,9	0,27	
Mittel =	25,95	4,2	2,7	0,58	5,5

	a	b	c	d	x_i
(nach)	26,9	4,4	1,9	0,75	
	31,0	5,4	2,05	0,80	
Mittel =	28,95	4,9	1,97	0,77	5,6

Mittel = 5,55.

b.

τ	t	a	b	c	d	
25,5	54,5	804,8	3,92	725,0	9,6	
25,4	54,5	814,7	5,70	745,0	6,0	
25,4	54,5	816,8	6,02	748,0	5,7	
25,4	54,5	814,8	5,58	750,5	5,1	
25,3	54,5	823,1	6,80	750,0	5,5	
25,4	55,5	814,8	5,6	743,7	6,39	= Mittel

$x_{ii} = 781{,}59$: $x_i = 5{,}55$: $w_i = 776{,}04$: $w_i = 776{,}04$;
$w = 853{,}7$.

No. 5*a*.

	a	b	c	d	x_i
	93,0	4,49	39,5	6,51	
(vor)	93,0	4,50	13,1	12,41	
	85,0	2,69	13,1	12,40	
Mittel =	90,33	3,89	21,9	10,44	71,75
	79,95	1,98	5,4	13,74	
(nach)	78,00	1,46	5,4	13,80	
Mittel =	78,97	1,72	5,4	13,77	70,81

Mittel = 71,28

b.

τ	t	a	b	c	d
22,8	77,5	980,8	12,40	883,3	4,01
22,8	87,5	952,1	7,97	883,3	4,02
22,8	77,5	952,1	7,91	851,7	9,20
	77,5	940,9	5,90	851,7	8,31
22,9	77,5	940,9	8,89	857,2	8,31
22,9	77,5	929,1	3,80	857,2	8,35
Mittel = 22,8	77,5	949,32	7,31	864,06	7,18

$x_{ii} = 906{,}31$; $x_i = 71{,}28$; $w_i = 835{,}03$; $w = 910{,}04$.

No. 6 *a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_i
	84,7	7,40	25,2	4,55	
(vor)	84,7	7,38	30,9	3,73	
	72,9	4,95	31,1	3,61	
	78,7	6,09	31,1	3,60	
Mittel =	80,25	6,45	29,57	3,87	48,57
	72,3	4,71	27,5	4,40	
(nach)	73,2	5,00	27,5	4,35	
Mittel =	72,75	4,85	27,5	4,37	48,94
				Mittel =	48,75

b.

τ	*t*	*a*	*b*	*c*	*d*
25,7	100,15	1000,0	12,09	899,0	4,35
25,7	100,20	962,6	6,08	899,0	4,39
25,7	100,20	962,6	5,95	904,3	3,54
25,9	100,20	951,0	4,15	904,3	3,50
25,9	100,20	951,0	4,09	908,5	2,92
25,9	100,20	938,0	2,03	908,5	2,85
Mittel = 25,8	100,19	960,86	5,73	903,93	3,59

$x_{ii} = 925{,}86$; $x_i = 48{,}75$; $w_i = 877{,}11$; $w = 966{,}275$.

No. 7 *a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_i
	85,6	2,90	20,1	10,71	
(vor)	78,0	1,40	25,8	9,44	
	85,6	2,88	25,8	9,45	
Mittel =	83,1	2,39	23,9	9,87	71,56
	77,1	1,50	16,0	11,30	
(nach)	91,9	4,55	16,0	11,32	
Mittel =	84,5	3,02	16,0	11,31	70,10
				Mittel =	70,83

b.

τ	*t*	*a*	*b*	*c*	*d*
22,9	132,0	1098,2	10,91	998,4	5,31
22,9	132,0	1089,4	9,72	998,4	5,20
22,9	132,0	1089,4	9,71	1015,4	1,90

	τ	t	a	b	c	d
	22,9	132,0	1086,9	9,35	1015,4	1,99
	22,95	132,0	1086,9	9,45	1001,0	4,60
	23,0	132,0	1080,0	8,39	1001,0	4,51
Mittel =	22,9	132,0	1088,47	9,59	1004,93	3,92

$x_u = 1029{,}17$; $x_t = 70{,}83$; $w_t = 958{,}34$; $w = 1044{,}81$.

No. 8 *a*.

	a	b	c	d	x_t
	91,5	4,68	16,1	10,98	
(vor)	91,5	4,61	17,2	10,48	
	85,3	3,60	17,2	10,51	
Mittel =	89,4	4,30	16,8	10,66	68,53
	69,8	0,24	29,8	7,99	
(nach)	91,1	4,51	29,8	8,02	
	91,1	4,52	37,3	6,30	
Mittel =	84,0	3,9	32,3	7,11	66,22
				Mittel =	67,38

b.

	τ	t	a	b	c	d
	22,3	160,0	1149,0	8,98	1049,1	6,70
		160,0	1124,2	5,31	1049,1	6,60
	22,5	160,0	1124,2	5,20	1049,8	6,57
	22,7	160,0	1107,9	2,76	1049,8	6,52
	22,75	160,0	1107,9	2,80	1058,5	4,99
	22,8	160,0	1124,0	5,44	1058,5	4,98
Mittel =	22,6	160,0	1122,9	5,08	1052,5	6,06

$x_u = 1090{,}88$; $x_t = 67{,}38$; $w_t = 1023{,}50$; $w = 1114{,}64$.

Berechnet man aus den vorliegenden Daten wie früher unter der Voraussetzung, dafs der Widerstand proportional mit der Temperatur wächst, die Zunahme des Widerstandes für einen Temperaturgrad, so ergiebt sich:

zwischen	0°,51	und	9°,88	= 2,587
	9 ,88	»	16 ,35	= 2,163
	16 ,35	»	54 ,50	= 2,457
	54 ,50	»	77 ,50	= 2,449
	77 ,50	»	100 ,19	= 2,478
	100 ,19	»	132 ,00	= 2,468
	132 ,00	»	160 ,00	= 2,494.

Aus der nahen Uebereinstimmung dieser Werthe geht unzweideutig hervor, dafs wirklich der Widerstand des Silbers gleichmäfsig mit der Temperatur zunehmen mufs. Berechnet man hiernach die wahrscheinlichsten Werthe für die Constanten α und β der Gleichung $w_t = \alpha + \beta t$, so hat man für Silber:

$$1.\quad w_t = 720{,}27 + 2{,}4592 \,.\, t,$$

und wenn man $w_0 = 100$ annimmt:

$$2.\quad w_t = 100 + 0{,}34142 \,.\, t.$$

Die nach Gleichung 1 berechneten Widerstände stimmen mit den beobachteten gut überein, was aus der folgenden Zusammenstellung zu sehen ist:

	w_t		
t	beobacht.	berechn.	Diff.
0,51	721,71	721,52	+ 0,19
9,88	745,95	744,57	+ 1,38
16,35	759,95	760,48	— 0,53
54,50	853,70	854,30	— 0,60
77,50	910,04	910,86	— 0,82
100,19	966,28	966,66	— 0,38
132,00	1044,81	1044,88	— 0,07
160,00	1114,64	1113,74	+ 0,90.

Vergleicht man endlich die Gleichung 2 mit den entsprechenden für Kupfer und Platin vorher angegebenen, so sieht man, dafs das Silber zwischen diesen beiden Metallen hinsichtlich der Gröfse der Aenderung steht, die der Widerstand mit der Temperatur leidet.

Vierte Reihe. Aluminium.

Hr. Prof. Wöhler hatte die Güte mir zwei verschiedene Aluminiumdrähte zu leihen, von denen der eine (No. 1) aus Paris herstammte, und der zweite (No. 2) in dem hiesigen chemischen Laboratorium durch Reduction aus Kryolith dargestellt war.

Aluminiumdraht No. 1.

Länge = 1819mm; Durchmesser = 0mm,453; Reducirte Länge = 8867mm.

No. 1 *a*.

	a	*b*	*c*	*d*	*x'*
	368,0	0,39	360,0	1,44	
	370,5	1,18	365,0	0,17	
	366,1	0,31	363,0	0,49	
	369,0	0,87	360,9	0,89	
	368,6	0,60	363,7	0,44	
Mittel =	368,44	0,67	362,52	0,686	365,51

b.

τ	*t*	*a*	*b*	*c*	*d*
17,2	+ 0,25	1839,9	0,30	1824,3	2,20
17,4	0,23	42,8	0,79	29,3	1,49
17,4	0,20	46,0	1,20	34,3	0,52
17,5	0,20	42,9	0,61	33,7	0,60
17,5	0,20	40,7	0,48	32,0	0,95
17,3	0,20	39,2	0,08	35,9	0,47
17,1	0,23	42,0	0,68	38,0	0,10
17,0	0,25	43,4	0,82	36,3	0,22
17,0	0,20	40,7	0,34	36,4	0,23
17,0	0,20	42,0	0,50	37,0	0,22
17,25	0,22	1841,96	0,58	1833,72	0,7 = Mittel

$x_a = 1838{,}22$; $x_i = 365{,}51$; $w_i = 1472{,}71$; $w = 1572{,}81$.

No. 2 *a*.

	a	*b*	*c*	*d*	*x*
(vor)	365,0	0,70	360,1	0,35	
	363,6	0,50	359,2	0,53	
Mittel =	364,3	0,6	359,65	0,44	361,62
	365,5	0,65	361,1	0,37	
(nach)	363,2	0,19	360,2	0,59	
	365,1	0,70	359,0	0,81	
Mittel =	364,6	0,51	360,1	0,59	362,51
				Mittel =	362,06

b.

	τ	t	a	b	c	d
	16,75	13,70	1909,7	0,65	1902,4	0,33
	16,80	13,80	8,7	0,52	2,5	0,60
	16,70	13,85	6,4	0,11	0,4	0,90
	16,40	13,90	7,9	0,27	3,9	0,25
	16,10	13,95	10,5	0,71	4,5	0,18
	16,05	13,98	07,6	0,27	2,0	0,51
Mittel =	16,47	13,86	1908,47	0,42	1902,62	0,46

$x_{II} = 1905{,}68$; $x_I = 362{,}06$; $w_I = 1543{,}62$;
$w = 1644{,}26$.

No. 3*a*.

	a	b	c	d	x_I
	250,0	0,21	238,3	2,70	
(vor)	251,6	0,85	243,5	1,37	
	254,0	1,78	247,5	0,14	
Mittel =	251,86	0,946	243,1	1,403	248,33
	249,3	0,13	241,9	1,43	
(nach)	249,0	0,09	243,6	1,33	
	254,0	1,70	246,2	0,20	
Mittel =	250,76	0,64	243,9	0,99	248,31
				Mittel =	248,32

b.

τ	t	a	b	c	d	
19,0	18,50	1811,1	1,00	1801,8	0,82	
19,0	18,55	09,0	0,70	3,8	0,10	
19,0	18,50	09,0	0,84	1,8	0,39	
19,0	18,50	09,5	0,90	2,6	0,20	
19,0	18,50	13,8	1,50	3,4	0,19	
18,9	18,55	08,1	0,60	1,8	0,47	
18,9	18,60	10,9	1,08	3,9	0,17	
18,97	18,53	1810,29	0,96	1802,76	0,33	= Mittel

$x_{II} = 1804{,}67$; $x_I = 248{,}32$; $w_I = 1556{,}35$;
$w = 1672{,}59$.

No. 4 *a*.

	a	*b*	*c*	*d*	
(vor)	152,9	4,53	123,0	2,40	
	147,1	3,10	126,8	1,49	
Mittel =	150,0	3,81	124,9	1,94	133,37
(nach)	146,0	2,82	119,5	3,20	
	153,7	4,18	118,3	4,10	
Mittel =	149,87	3,50	118,92	3,65	134,72
				Mittel =	134,04

b.

τ	*t*	*a*	*b*	*c*	*d*	
24,7	26,3	1712,0	2,25	1687,0	1,65	
24,7	26,3	04,7	1,10	89,1	1,32	
24,6	26,3	10,0	1,94	86,6	1,72	
24,6	26,3	08,4	1,59	84,2	2,10	
24,66	26,3	1708,77	1,72	1686,73	1,7	= Mittel

$x_u = 1697{,}69$; $x_i = 134{,}01$; $w_i = 1563{,}65$; $w = 1715{,}58$.

No. 5 *a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_i
	365,5	0,65	361,1	0,37	
	363,2	0,19	360,2	0,59	
	365,1	0,70	359,0	0,81	
Mittel =	364,6	0,513	360,1	0,59	362,51

b.

τ	*t*	*a*	*b*	*c*	*d*
15,4	47,47	2098,9	1,72	2081,3	0,80
15,4	47,32	90,0	0,58	85,0	0,17
15,4	47,22	89,5	0,60	83,0	0,40
15,4	47,32	89,5	0,69	83,8	0,18
15,3	47,60	89,1	0,40	83,1	0,28
15,3	47,85	91,5	0,46	85,9	0,13
15,2	47,85	88,7	0,05	83,2	0,61
	47,75	91,5	0,61	82,8	0,58
Mittel = 15,34	47,49	2091,125	0,64	2083,51	0,394

$x_u = 2086{,}41$; $x_i = 362{,}51$; $w_i = 1723{,}9$; $w = 1828{,}1$

No. 6*a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_t
	367,6	0,87	358,5	1,25	
	366,1	0,50	361,8	0,52	
	365,3	0,32	357,6	1,55	
	367,5	0,79	360,4	0,78	
	364,2	0,09	358,1	1,29	
Mittel =	366,14	0,514	359,28	1,078	363,93

b.

	τ	t	*a*	*b*	*c*	*d*
	15,0	99,7	2357,9	0,81	2346,5	0,81
	15,0	99,5	56,0	0,26	51,6	0,20
	15,0	99,8	57,1	0,65	50,0	0,38
	15,0	99,8	60,5	1,10	46,0	0,91
	15,0	99,8	57,2	0,62	48,3	0,52
	15,0	99,8	53,3	0,10	48,0	0,60
	15,0	99,8	57,0	0,70	43,7	1,10
		99,8	60,6	1,15	48,0	0,50
Mittel =	15,0	99,75	2357,45	0,674	2347,76	0,628

$x_0 = 2352{,}43$; $x_t = 363{,}93$; $w_t = 1988{,}5$; $w = 2106{,}03$.

Die Zunahme des Widerstandes für 1° zeigt auch hier bei den verschiedenen Temperaturen so nahe übereinstimmende Werthe, nämlich:

zwischen 0°,22 und 13°,86 = 5,238
13 ,86 » 18 ,53 = 6,066
18 ,53 » 26 ,30 = 5,532
26 ,30 » 47 ,49 = 5,310
47 ,49 » 99 ,75 = 5,318,

dafs man auch für das Aluminium die Widerstandszunahme als proportional mit der Temperatur ansehen mufs. Es ergiebt sich aus den Messungen die folgende Gleichung für den Widerstand des Aluminiums als die wahrscheinlichste:

$$w_t = 1572{,}44 + 5{,}3588 \,.\, t, \qquad (1)$$

oder:

$$w_t = 100 + 0{,}34079 \,.\, t, \qquad (2)$$

wenn $w_0 = 100$ angenommen wird.

In der folgenden Tafel sind die nach Formel (1) berechneten Widerstände mit den beobachteten zusammengestellt:

	w_t		
t	beobacht.	berechn.	Diff.
0,22	1572,81	1573,61	— 0,80
13,86	1644,26	1646,71	— 2,45
18,53	1672,59	1671,72	+ 0,87
26,30	1715,58	1713,36	+ 2,22
47,49	1828,10	1826,89	+ 1,21
99,75	2106,03	2106,90	— 0,87

Aluminium No. 2.

Länge = 3983^{mm}; Durchmesser = 0^{mm},673;
Reducirte Länge = 8794^{mm}.

No. 1 a,

	a	b	c	d	x_t
	588,1	0,10	585,5	0,39	
(vor)	90,3	0,60	82,5	1,01	
	92,1	1,00	86,5	0,08	
Mittel =	590,16	0,56	584,83	0,49	587,32
	590,4	0,56	584,1	0,71	
(nach)	88,0	0,15	82,1	1,09	
Mittel =	589,2	0.355	583,1	0,9	586,68
				Mittel =	587,00

b.

τ	t	a	b	c	d	
13,75	0,05	1918,0	0,36	1912,0	0,40	
		15,0	0,09	07,5	1,13	
13,80	0,05	18,0	0,40	10,9	0,61	
		20,3	0,81	10,4	0,62	
13,74	0,03	19,0	0,60	08,6	0,84	
		22,0	1,06	10,7	0,73	
13,70	0,04	19,6	0,70	12,3	0,41	
		23,2	1,22	09,7	0,89	
		20,9	0,80	11,7	0,55	
13,60	0,04	18,3	0,44	12,9	0,44	
13,72	0,04	1919,43	0,648	1910,67	0,662	= Mittel

x_a = 1915,10; x_t = 587,00; w' = 1328,1; w = 1399,78.

No. 2*a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_i
	592,0	1,12	584,9	0,31	
(vor)	89,0	0,50	82,9	0,59	
	87,1	0,18	81,9	0,97	
Mittel =	589,36	0,60	583,23	0,62	586,34
	592,0	0,91	585,2	0,40	
(nach)	88,3	0,30	81,4	1,20	
	90,0	0,62	84,5	0,66	
Mittel =	590,1	0,61	583,7	0,75	587,23
				Mittel =	586,78.

b.

τ	*t*	*a*	*b*	*c*	*d*	
13,35	11,00	1974,9	0,70	1968,9	0,10	
		73,0	0,42	65,2	0,59	
13,50	11,00	74,9	0,70	67,0	0,39	
		75,6	1,10	67,0	0,52	
		74,7	0,61	68,9	0,29	
13,50	11,03	73,0	0,40	65,0	0,98	
		76,0	0,68	68,5	0,35	
13,50	11,10	72,9	0,20	65,8	0,79	
13,46	11,03	1974,61	0,60	1967,04	0,50	= Mittel

$x_{ii} = 1970{,}48$; $x' = 586{,}78$, $w_i = 1383{,}70$; $w = 1457{,}08$.

No. 3*a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_i
	592,6	1,00	582,7	1,04	
(vor)	88,3	0,14	84,9	0,51	
	90,1	0,66	86,1	0,20	
Mittel =	590,3	0,60	584,56	0,58	587,38
(nach)	592,2	0,99	581,3	1,19	
	89,4	0,50	86,7	0,10	
Mittel =	590,8	0,745	584,0	0,645	587,16
				Mittel =	587,27.

b.

	τ	t	a	b	c	d
	12,85	56,00	2200,7	0,99	2188,0	0,60
	13,85	55,90	203,8	1,41	85,9	0,88
	12,80	55,90	194,0	0,15	88,3	0,56
		55,93	197,4	0,65	81,9	1,46
	12,60	56,00	198,4	0,83	84,2	1,20
	12,60	56,00	196,0	0,38	87,6	0,71
	12,50	56,00	196,4	0,39	87,2	0,88
Mittel =	12,7	55,96	2198,1	0,69	2186,16	0,898

x_u 2192,91; $x_i = 587,27$; $w_i = 1605,64$; $w = 1685,99$.

No. 4 *a*.

	a	b	c	d	x_i
	593,1	0,89	584,5	0,91	
(vor)	93,4	1,05	87,3	0,27	
	91,8	1,71	85,6	0,57	
Mittel =	592,76	0,88	585,8	0,58	588,56
	592,4	0,90	584,9	0,79	
(nach)	90,0	0,47	84,2	0,78	
Mittel =	591,2	0,685	584,55	0,785	588,10
				Mittel =	588,33

b.

τ	t	a	b	c	d
12,2	99,60	2419,8	1,22	2412,4	0,08
12,2	99,65	16.1	0,83	04,3	1,01
12,25	99,96	14,6	0,50	07.5	0,70
	100,00	23,9	1,58	09,2	0,45
12,25	100,00	13,1	0,12	09,8	0,25
12,30	100,00	14,0	0,31	06,9	0,66
12,3	100.00	15,3	0,49	07,2	0,67
12,3	100,00	14,8	0,40	08,5	0,41
12,26	99,9	2416,45	0,68	2408,22	0,53 = Mittel

$x_u = 2411.82$; $x_i = 588,33$; $w_i = 1823.49$; $w = 1911,58$.

No. 5a.

	a	b	c	d	x_t
	591,0	0,80	583,5	0,71	
	92,9	1,50	82.6	0,81	
	93,5	1,57	85,5	0,27	
Mittel =	592,46	1,29	583,86	0,60	586,59

b.

τ	t	a	b	c	d	
12,0	153,75	2692,0	2,07	2672,2	0,36	
	153,32	83,2	0,96	67,7	0,72	
	152,45	79,9	1,36	63,0	0,31	
12,0	152,30	68,8	0,40	58,0	1,10	
	151,60	74,7	1,82	60,9	0,48	
12,0	151,05	72,9	2,08	50,5	0,79	
12,0	152,56	2678,58	1,15	2662,05	0,63	= Mittel

$x_{II} = 2667{,}05$; $x_I = 586{,}59$; $w_t = 2080{,}46$; $w = 2178{,}83$.

Aus den nächst vorliegenden Messungen ergiebt sich:

$$w_t = 1400{,}28 + 5{,}0951 \,.\, t, \qquad (1)$$

oder

$$w_t = 100 + 0{,}3639 \,.\, t. \qquad (2)$$

In der folgenden Tafel sind wieder die berechneten und die beobachteten Widerstände zusammengestellt:

	w_t		
t	beobacht.	berechn.	Diff.
0,04	1399,78	1400,28	− 0,50
11,03	1457,08	1456,48	+ 0,60
55,96	1685,99	1685,40	+ 0,59
99,90	1911,58	1909,27	+ 2,31
152,56	2178,83	2177,57	+ 1,26

Der Leitungswiderstand des Aluminiums ist früher von Prof. Buff (Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. CII, Bd. 265) und von Prof. Poggendorff (Pogg. Ann. Bd. XCVII, S. 643) gemessen worden. Der Erste untersuchte auch zwei verschiedene Aluminiumdrähte und fand die Widerstände derselben resp. = 199,63 und 210,92 (der Widerstand des chemisch reinen Silbers = 100 angenommen); nach meinen

Messungen ergiebt sich unter derselben Voraussetzung, der Widerstand des Aluminiumdrahtes No. 1 = 196,7 und der des No. 2 = 177,3. Eine nähere Uebereinstimmung kann man nicht gut erwarten, wenn man erwägt, dafs erstens das Aluminium bald eine gröfsere, bald eine geringere Menge von Silicium enthält, was sehr bedeutend auf das Leitungsvermögen desselben einwirkt, und zweitens, dafs als Maafs des Widerstandes zwei verschiedene Silberdrähte benutzt worden sind, welche, obwohl beide von chemisch reinem Silber gezogen, doch wahrscheinlich ein etwas verschiedenes Leitungsvermögen besitzen.

Aus Versuchen, die im Folgenden näher besprochen werden sollen, geht hervor, dafs die Widerstände der von mir untersuchten Aluminiumdrähte respective = 194,13 und 174,98 oder die Leitungsvermögen derselben resp. = 51,5 und 57,1 sind, wenn das Leitungsvermögen des Kupfers = 100 angenommen wird, was auch (wenigstens in Betreff der ersten Zahl) mit dem von Prof. Poggendorff angegebenen Werth = 51,3 sehr gut übereinstimmt.

Fünfte Reihe. Argentan.

Länge des Drahtes = 3131^{mm}; Durchmesser = 0^{mm},9082:
Reducirte Länge = 3796^{mm}:

No. 1*a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_1
	592,3	0,54	585.4	0,90	
	95,1	1,15	89,4	0,09	
	92,9	0,70	87,0	0,44	
	90,4	0,20	84,4	1,09	
Mittel =	592,67	0,65	586,55	0,63	589,56
	592,0	0,72	587,1	0,25	
	94,0	1,14	88,1	0,05	
Mittel =	593,0	0,93	587,6	0,15	588,35
				Mittel =	588,95

b.

τ	t	a	b	c	d	
14,70	0,10	1319,9	0,71	2310,1	0,60	
14,75	0,10	16,8	0,31	12,7	0,19	
14,75	0,15	16,1	0,31	08,7	0,74	
14,70	0,10	20,0	0,90	11,0	0,39	
14,70	0,10	17,0	0,50	08,0	0,85	
14,65	0,12	15,2	0,19	10,2	0,52	
14,40	0,15	17,0	0,50	06,0	1,08	
14,20	0,07	15,4	0,30	06,1	1,11	
14,20	0,05	17,2	0,58	09,4	0,61	
14,15	0,05	20,7	1,11	11,4	0,37	
14,52	0,10	2317,53	0,54	2309,36	0,65	= Mittel

$x_{,,} = 2313{,}81$; $x_{,} = 588{,}95$; $w_{,} = 1724{,}86$; $w = 1823{,}54$.

No. 2*a*.

a	b	c	d	$x_{,}$
592,5	0,96	583,2	0,68	
91.5	0,89	85,4	0,25	
90,1	0,67	84,1	0,41	
Mittel = 591,36	0,84	584,23	0,45	586,71
591,0	0,59	583,2	0,98	
90,5	0,59	82,9	1,01	
Mittel = 590,75	0,59	583,05	0,99	587,88

Mittel = 587,29.

b.

τ	t	a	b	c	d	
12.80	11,50	2338,1	1,09	2327,0	0,31	
12,95	11,55	35,4	0,89	24,0	0,71	
13,00	11,60	32,8	0,54	26,0	0,50	
13,00	11,60	29,1	0,08	22,2	1,01	
13,00	11,65	32,6	0,39	25,2	0,58	
13,05	11,70	34,8	0,69	22,7	0,90	
13,05	11,70	31,9	0,29	22,6	0,91	
13,03	11,65	31,2	0,28	24,4	0,60	
13,03	11,65	33,4	0,55	27,1	0,31	
13,05	11,70	35,7	0,89	20,0	1,10	
13,00	11,63	2333,5	0,57	2324,12	0,69	= Mittel

$x_{,,} = 2329{,}25$; $x_{,} = 587{,}29$; $w_{,} = 1741{,}96$; $w = 1831{,}19$.

No. 3 *a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_i
	596,8	1,30	586,7	0,71	
	91,5	0,39	87,1	0,68	
Mittel =	593,56	0,64	587,03	0,64	590,18
	592,8	0,70	583,4	1,28	
	91,4	0,48	86,0	0,69	
Mittel =	592,1	0,59	584,7	0,985	589,33
				Mittel =	589,75.

b.

τ	*t*	*a*	*b*	*c*	*d*
14,35	60,02	2358,3	0,32	2353,4	0,25
14,40	60,10	61,8	1,12	50,3	0,53
14,30	60,25	60,1	0,85	51,5	0,15
	60,02	53,3	0,19	46,3	0,71
	59,80	59,1	0,90	45,0	0,88
14,20	60,00	57,1	0,64	48,9	0,40
	60,40	59,7	0,97	49,2	0,32
14,15	60,65	55,5	0,48	45,1	0,91
	60,85	56,7	0,70	48,0	0,50
14,15	60,90	60,3	1,10	49,6	0,20
Mittel = 14,26	60,30	2358,19	0,727	2348,73	0,485

$x_u = 2352{,}51$; $x_i = 589{,}75$; $w_i = 1762{,}76$; $w = 1861{,}80$.

No. 4 *a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_i
	592,2	0,90	585,5	0,63	
	91,5	0,75	83,0	0,99	
Mittel =	591,85	0,825	584,25	0,81	588,01
	592,2	1,00	583,0	1,01	
	91,3	0,70	84,5	0,66	
	93,4	1,20	84,0	0,69	
Mittel =	592,3	0,97	283,8	0,79	587,61
				Mittel =	587,81

b.

τ	t	a	b	c	d	
13,15	100,10	2387,9	1,21	2372,9	0,69	
	100,02	88,0	1,45	70,0	1,04	
13,25	100,03	85,6	1,12	71,0	0,78	
13,35	100,05	86,8	1,21	70,0	0,81	
13,40	100,10	88,1	1,44	72,1	0,70	
13,40	100,25	88,0	1,31	69,6	0,99	
	100,25	87,0	1,40	69,5	1,09	
13,55	100,30	85,5	1,14	70,8	0,85	
13,70	100,25	89,3	1,64	70,0	0,90	
13,75	400,25	87,5	1,51	70,0	0,83	
13,44	100,16	2387,37	1,343	2370,59	0,868	= Mittel.

$x_{,,} = 2377{,}19$; $x_{,} = 587{,}81$; $w_{,} = 1789{,}38$; $w = 1884{,}17$.

No. 5*a*.

	a	b	c	d	$x_{,}$
	592,4	0,80	583,0	1,15	
	92,7	0,89	86,3	0,23	
Mittel =	592,55	0,845	584,65	0,69	588,19
	591,2	1,19	582,0	0,83	
	90,7	1,08	79,9	1,30	
Mittel =	590,95	1,135	580,95	1,065	585,79
				Mittel =	586,99.

b.

τ	t	a	b	c	$d_{,}$
12,50	157,30	2427,3	2,15	2400,0	1,23
12,40	157,35	18,5	1,91	0,9	1,05
12,35	157,12	15,4	1,31	1,9	0,70
12,35	156,97	17,8	1,46	0,4	0,75
12,30	157,28	14,9	0,91	1,0	1,10
12,20	157,30	16,4	2,22	3,0	0,69
12,35	157,22	2418,38	1,66	2401,2	0,92

$x_{,,} = 2407{,}32$; $x_{,} = 586{,}99$; $w_{,} = 1820{,}33$; $w = 1908{,}91$.

Wenn man nun hier, wie bei den früheren Versuchen, die Zunahme des Widerstandes für einen Temperaturgrad berechnet, so ergeben sich folgende Werthe:

zwischen	0,10	und	11,63 = 0,663
	11,63	»	60,30 = 0,628
	60,30	»	100,16 = 0,560
	100,16	»	157,22 = 0,334.

Hieraus ersieht man sogleich: 1) dafs die Einwirkung der Temperatur auf das Leitungsvermögen des Argentans sehr gering ist, im Vergleich zu dem bei den früher untersuchten Metallen, und 2) dafs die Zunahme des Widerstandes für 1° nicht bei allen Temperaturen dieselbe bleibt, sondern bei wachsenden Temperaturen immer kleiner wird. Aus (1) geht die practische Folgerung hervor, dafs das Argentan sich vorzüglich zu allen derartigen Einrichtungen eignet, wo es auf einen möglichst constanten Widerstand ankommt, z. B. Widerstandsrollen, Widerstandsetalonen etc.

Aus (2) folgt ferner, dafs der Widerstand des Argentans mit der Temperatur nicht gleichmäfsig wächst, sondern hier zu den früheren Formeln noch ein quadratisches Glied hinzugefügt werden mufs. Berechnet man dann nach der Methode der kleinsten Quadrate die wahrscheinlichsten Werthe der constanten Gröfsen der Gleichung

$$w_t = \alpha + \beta t + p t^2,$$

so ergiebt sich:

$$w_t = 1823{,}22 + 0{,}70625 \,.\, t - 0{,}0010169 \,.\, t^2, \qquad (1)$$

oder, wenn der Widerstand bei $0^\circ = 100$ angenommen wird:

$$w_t = 100 + 0{,}03874 \,.\, t - 0{,}0000558 \,.\, t^2. \qquad (2)$$

Aus der folgenden Tafel ersieht man, wie gut die nach Formel (1) berechneten Widerstände mit den beobachteten übereinstimmen:

	w_t		
t	berechn.	beobacht.	Diff.
0,10	1823,54	1823,29	+ 0,25
11,63	1831,19	1831,29	— 0,10
60,30	1861,80	1862,11	— 0,31
100,16	1884,14	1883,73	+ 0,41
157,22	1908,91	1909,08	— 0,17

Sechste Reihe. Bleidraht.

Länge = 3790^{mm}; Durchmesser = 1^{mm},1175;
Reducirte Länge = 3035^{mm}.

No. 1*a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_i
	631,3	1,11	617,4	1,66	
	41,2	3,20	23,4	0,46	
Mittel =	636,25	2,15	620,4	1,06	625,63
	638,4	2,68	625,6	0,18	
	30,0	1,06	19,0	1,30	
Mittel =	634,2	1,87	622,3	0,74	625,97
				Mittel =	625,65

b.

τ	*t*	*a*	*b*	*c*	*d*
5,3	+ 0,6	3545,3	1,20	3522,0	1,69
		42,5	0,80	24,2	1,39
5,5	0,10	39,8	0,48	18,0	2,10
		50,7	1,81	20,9	1,73
		47,0	1,30	25,7	1,21
5,7	0,08	43,3	0,92	31,0	0,61
		47,8	1,46	18,2	2,05
5,7	0,10	43,0	0,90	28,8	0,81
Mittel = 5,55	0,08	3544,92	1,11	3523,6	1,45

x_{ii} = 3535,67; x_i = 625,65; w_i = 2910,02; w = 2973,66.

No. 2*a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_i
	641,7	3,48	620,3	0,70	
	35,5	2,34	15,0	1,77	
	29,0	0,86	12,8	2,20	
Mittel =	635,4	2,23	616,03	1,56	624,00
	642,0	3,50	617,0	1,50	
	27,7	0,79	21,0	0,70	
Mittel =	834,85	2,14	619,0	1,10	624,38
				Mittel =	624,19

b.

τ	t	a	b	c	d	
4,90	11,70	3681,6	1,33	3649,7	2,50	
	11,40	80,0	0,89	62,0	0,82	
	11,15	82,8	1,08	54,0	0,90	
	11,00	76,3	1,60	48,0	1,60	
	10,97	75,6	1,76	51,0	1,09	
5,05	10,90	72,0	1,32	58,4	0,19	
	10,78	75,7	2,00	54,0	0,59	
5,08	10,42	70,9	1,67	46,2	1,23	
5,01	11,04	3675,74	1,47	3651,92	1,27	= Mittel

$x_a = 3662{,}96$; $x_i = 624{,}19$; $w_i = 3038{,}77$; $w = 3098{,}64$.

No. 3*a*.

	a	b	c	d	x_i
	625,7	1,14	614,5	0,86	
	28,9	1,81	09,7	1,70	
Mittel =	627,3	1,47	612,1	1,28	619,17
	630,5	2,30	610,3	1,61	
	27,9	1,50	14,8	0,88	
Mittel =	629,2	3,80	612,5	1,24	619,09
				Mittel =	719,13

b.

τ	t	a	b	c	d	
6,00	51,75	4092,0	0,35	4072,8	1,90	
	51,70	91,2	0,23	77,9	1,40	
	51,60	95,4	0,80	76,5	1,50	
6,20	51,50	92,5	0,31	78,3	1,06	
	51,45	91,7	0,28	80,0	0,77	
	51,38	97,0	1,11	77,0	1,20	
	51,30	95,0	0,99	80,1	0,61	
6,20	51,15	94,9	1,00	77,5	0,80	
6,13	51,48	4093,72	0,63	4077,51	1,15	= Mittel

$x_a = 4087{,}98$; $x_i = 619{,}13$; $w_i = 3468{,}85$; $w = 3552{,}65$.

No. 4 *a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_t
	643,6	0,58	625,5	1,55	
	39,8	0,10	28,7	1,17	
	52,1	1,70	32,2	0,78	
Mittel =	645,16	0,79	628,9	1,17	638,56
	647,7	1,06	625,2	1,78	
	48,8	1,29	28,8	1,40	
Mittel =	648,25	1,17	627,0	1,59	639,24
				Mittel =	638,9

b.

τ	*t*	*a*	*b*	*c*	*d*
6,80	100,55	4651,0	1,60	4619,2	0,62
		46,4	1,18	13,1	1,00
7,00	100,60	37,1	0,55	09,0	1,30
		36,2	0,33	16,2	0,90
7,10	100,60	40,8	0,60	22,7	0,41
		47,0	0,90	16,0	0,68
		53,0	1,41	10,2	0,95
7,10	100,60	53,1	1,61	06,7	1,16
		44,7	0,92	16,0	0,87
7,05	100,60	48,7	1,30	05,1	1,15
7,01	100,59	4645,8	1,04	4613,4	0,9

$n_u = 4628{,}43$; $x_t = 638{,}9$; $w_t = 3989{,}53$; $w = 4099{,}57$.

Aus den eben angeführten Messungen ergiebt sich der folgende Ausdruck für den Widerstand des Bleies:

$$w_t = 2974{,}06 + 11{,}2053 \,.\, t. \qquad (1)$$

oder

$$w_t = 100 + 0{,}3768 \,.\, t. \qquad (2)$$

Die Widerstände nach Formel (1) berechnet, stimmen sehr gut mit den beobachteten, wie aus der folgenden Tafel zu ersehen ist, überein:

	w_t		
t	berechn.	beobacht.	Unterschied.
0,08	2973,66	2974,95	— 1,29
11,04	3098,64	3097,77	+ 0,87
51,48	3552,65	3550,90	+ 1,75
100,59	4099,57	4101,20	— 1,63

Siebente Reihe. Messingdraht.

Länge = 1586mm; Durchmesser = 0mm,298;
Reducirte Länge = 17858mm.

No. 1a,

	a	b	c	d	x_i
	189,9	1,08	171,0	3,22	
	89,2	0,88	76,7	1,98	
	93,1	1,82	80,5	0,96	
	87,0	0,40	76,6	2,00	
Mittel =	189,8	1,04	176,2	2,04	185,21
	192,9	1,40	168,3	3,90	
	88,0	0,61	71,5	3,14	
	92,0	1,40	77,8	1,68	
Mittel =	190,96	1,13	172,53	2,91	185,81
				Mittel =	185,51.

b.

τ	t	a	b	c	d
5,70	0,15	6360,2	0,11	6353,6	0,44
		66,4	0,50	35,9	1,48
		76,3	1,14	42,0	1,10
5,75	0,10	66,7	0,50	45,9	0,79
		83,8	1,65	40,6	1,15
		82,2	1,59	33,1	1,70
5,70	0,13	78,9	1,32	38,8	1,29
		75,0	1,10	43,0	0,93
5,72	0,13	6373,68	0,99	6341,61	1,11 = Mittel

$x_a = 6358{,}56$; $x_i = 185{,}51$; $w_i = 6173{,}05$; $w = 6312{,}13$.

No. 2a.

	a	b	c	d	x_i
	186,2	1,20	173,0	1,69	
	82,7	0,50	78,0	0,55	
	86,6	1,28	70,0	2,49	
Mittel =	185,16	0,99	173,66	1,57	180,71
	187,1	0,40	179,5	1,21	
	92,1	1,59	74,0	2,50	
	92,0	1,47	79,0	1,37	
Mittel =	190,4	1,15	177,5	1,69	185,17
				Mittel =	182,94

b.

τ	t	a	b	c	d
6,9	5,65	6396,5	0,25	6385,0	0,54
		405,4	0,90	74,0	1,22
6,8	5,68	02,0	0,72	79,0	0,84
		16,0	1,53	82,0	0,71
		10,0	1,21	75,2	1,20
6,8	5,70	04,9	0,90	83,5	0,60
		14,6	1,44	72,7	1,31
6,7	5,70	04,3	0,76	82,1	0,66
Mittel = 6,8	5,68	6406,71	0,96	6379,19	0,89

$x_u = 6392{,}43$; $x_t = 182{,}94$; $w_t = 6209{,}49$; $w = 6375{,}86$.

No. 3*a*.

a	b	c	d	x_t
632,0	1,85	613,9	1,67	
35,8	2,60	16,0	1,40	
35,0	2,39	19,8	0,52	
Mittel = 634,26	2,28	616,56	1,2	622,66
637,7	2,45	614,0	2,24	
43,5	3,49	24,0	0,50	
Mittel = 640,6	2,97	619,0	1,37	625,82
			Mittel =	624,24

b.

τ	t	a	b	c	d	
7,65	45,95	7187,7	1,00	7167,2	0,11	
	46,00	80,3	0,60	60,3	0,60	
7,75	46,00	89,0	1,08	56,0	0,81	
	46,04	89,9	1,01	47,9	1,46	
	46,20	92,3	1,15	51,6	1,21	
7,80	46,30	96,5	1,39	50,1	1,29	
	46,35	94,2	1,24	55,8	1,04	
7,90	46,40	91,2	1,14	54,5	1,00	
7,77	46,15	7190,14	1,08	7155,42	0,94	= Mittel

$x_u = 7171{,}57$; $x_t = 624{,}24$; $w_t = 6547{,}33$; $w = 6747{,}74$.

No. 4 *a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_i
	628,8	0,30	610,1	3,39	
	39,1	2,70	17,1	2,03	
	34,5	1,50	23,4	0,84	
Mittel =	634,1	1,50	616,9	2,09	626,91
	631,1	0,60	617,6	2,24	
	36,3	1,69	22,9	1,10	
Mittel =	633,7	1,14	620,25	1,67	628,24
				Mittel =	627,57.

b.

τ	*t*	*a*	*b*	*c*	*d*	
8,0	99,75	7658,7	2,75	7601,0	0,31	
	99,80	34,0	1,46	588,0	1,01	
	99,86	16,0	0,70	593,9	0,67	
8,3	99,86	23,7	1,11	601,6	0,10	
	99,90	30,0	1,59	602,0	0,11	
	99,90	24,0	1,12	591,8	0,53	
8,4	99,90	14,0	0,60	580,0	1,29	
	99,95	13,0	0,70	586,0	0,91	
	99,90	22,5	1,34	570,7	0,67	
8,7	99,90	16,2	1,00	601,1	0,10	
8,03	99,87	7625,21	1,24	7591,61	0,57	= Mittel

x_{ii} = 7602,18; x_i = 627,57; w_i = 6974,61; w = 7195,29.

No. 5 *a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_i
	632,5	0,90	616,2	2,50	
	43,0	2,60	20,2	1,50	
	36,1	1,35	13,9	3,10	
Mittel =	637,2	1,61	616,8	2,36	628,92
	639,8	1,63	612,1	3,97	
	50,6	3,85	23,5	1,60	
Mittel =	645,2	2,74	617,8	2,78	631,59
				Mittel =	630,25

τ	t	a	b	c	d
8,1	159,85	8055,2	5,50	7931,2	0,70
	159,90	8006,0	3,32	02,0	2,23
	159,00	7977,5	2,59	12,4	1,21
8,3	159,20	7987,8	2,89	12,7	1,09
	159,50	7983,9	2,90	29,0	0,15
8,3	158,97	7975,0	2,90	09,5	0,81
Mittel = 8,23	159,4	7997,56	3,35	7916,1	1,03

$x_{,,} = 7935{,}25$; $x_{,} = 630{,}25$; $w_{,} = 7305{,}00$; $w = 7541{,}88$.

Es ergiebt sich aus diesen Messungen die Zunahme des Widerstandes für 1° C. (wenn man sie auf die frühere Weise berechnen will):

zwischen 0,13 und 5,68 = 11,4828
5,68 » 46,15 = 9,1890
46,15 » 99,87 = 8,3311
99,87 » 159,4 = 5,8221,

woraus von selbst hervorgeht, dafs der Widerstand des Messings durch eine Gleichung von der Form:

$$w_t = \alpha + \beta t + \gamma t^2$$

ausgedrückt werden mufs. Wenn nun statt α, β und γ die wahrscheinlichsten Werthe derselben gesetzt werden, so erhält man:

$$w_t = 6311{,}26 + 10{,}4888 \,.\, t - 0{,}017256 \,.\, t^2, \qquad (1)$$

und daraus:

$$w_t = 100 + 0{,}16619 \,.\, t - 0{,}0002734 \,.\, t^2. \qquad (2)$$

In der folgenden Tafel sind wieder die beobachteten und berechneten Widerstände, nebst deren Unterschiede, mit einander zusammengestellt:

	w_t		
t	beobacht.	berechn.	Diff.
0,13	6312,13	6312,62	— 0,49
5,68	6375,86	6370,30	+ 5,56
46,15	6747,74	6758,47	— 10,73
99,87	7195,29	7186,63	+ 8,66
159,40	7541,88	7544,88	— 3,00

Achte Reihe. Eisen.

Länge = 2067mm; Durchmesser = 0mm,643; Reducirte Länge = 4999mm.

No. 1 *a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_l
	639,4	3,25	620,0	0,72	
	36,7	2,81	12,9	2,10	
	30,7	1,50	17,8	1,06	
Mittel =	635,6	2,52	616,9	1,29	623,23
	535,6	2,69	618,0	0,90	
	29,8	1,45	18,0	1,02	
	26,0	0,70	22,0	0,20	
Mittel =	630,5	1,61	619,3	0,71	622,73
				Mittel =	626,98

b.

τ	*t*	*a*	*b*	*c*	*d*
6,0	5,90	3669,5	1,14	3646,6	1,45
		77,6	2,30	54,0	0,50
6,0	5,95	70,0	1,40	46,3	1,30
		65,5	0,83	42.0	1,82
6,0	5,95	74,3	1,91	46,5	1,30
	5,95	69,0	1,50	49,1	0,90
Mittel = 6,0	5,94	3676,98	1,51	3647,42	1,21

$x_a = 3657{,}90$; $x_l = 622{,}98$; $w_l = 3034{,}92$; $w = 3106{,}65$.

No. 2 *a*.

	a	*b*	*c*	*d*	x_l
	630,5	1,61	619,3	0,71	622,73
	633,9	2,10	614,4	1,81	
	36,9	2,70	17,5	1,20	
	31,1	1,49	13,3	2,00	
Mittel =	633,96	2,10	615,06	1,67	623,43
				Mittel =	623,08.

b.

τ	*t*	*a*	*b*	*c*	*d*
6,15	30,91	3982,5	1,40	3949,0	2,20
	31,00	77,4	0,89	57,4	1,48
6,40	31,03	82,6	1,11	63,5	0,89
	31,25	80,0	0,70	51,1	2,50
	31,42	79,2	0,48	60,0	1,68

τ	t	a	b	c	d	
6,40	31,50	87,4	1,30	61,0	1,56	
6,32	31,68	3981,5	0,98	3957,0	1,72	= Mittel

$x_{II} = 3972{,}60$; $x_I = 623{,}08$; $w_I = 3349{,}52$;
$w = 3432{,}93$.

No. 3 *a*

	a	b	c	d	x_I
	630,9	1,35	618,0	1,06	
	33,0	1,82	14,9	1,51	
	33,6	2,00	18,0	0,94	
Mittel =	632,5	1,72	616,96	1,17	623,25
	633,9	2,23	613,9	1,62	
	36,6	2,83	19,0	0,74	
	30,8	1,60	16,9	1,23	
Mittel =	633,76	2,22	616,6	1,20	622,62
				Mittel =	622,93

b.

τ	t	a	b	c	d	
6,15	56,82	4341,8	1,68	4314,0	1,09	
	56,97	41,1	1,48	12,0	1,31	
6,20	57,00	34,0	0,78	18,1	0,65	
	57,04	39,5	1,12	12,8	1,76	
	57,17	39,0	1,16	19,0	1,06	
6,30	57,20	35,0	0,70	14,0	1,33	
6,21	57,03	4338,4	1,15	4315,0	1,20	= Mittel

$x_{II} = 4326{,}95$; $x_I = 622{,}93$; $w_I = 3704{,}02$; $w = 3794{,}65$.

No. 4 *a*.

	a	b	c	d	x'
	631,5	1,35	616,4	1,60	
	27,0	0,49	20,2	0,71	
	31,9	1,41	14,8	1,70	
Mittel =	630,1	1,08	617,1	1,34	624,29
	629,3	1,10	612,0	2,65	
	31,0	1,40	15,7	1,53	
	36,5	2,50	16,6	1,41	
Mittel =	632,3	1,67	614,8	1,86	624,02
				Mittel =	624,15.

b.

τ	t	a	b	c	d
6,3	99,45	4960,3	1,10	4930,0	1,90
	99,60	60,4	1,55	37,8	1,00
6,5	99,50	54,6	0,90	46,8	0,15
	99,35	80,3	3,39	23,0	2,16
	99,30	70,0	2,41	31,6	1,19
6,7	99,40	59,8	1,49	35,0	0,91
Mittel = 6,5	99,43	4964,2	1,81	4934,03	1,22

$x_u = 4946{,}16$; $x_t = 624{,}15$; $w_t = 4322{,}01$; $w = 4432{,}69$.

No. 5 *a*.

a	b	c	d	x_t
636,2	2,37	617,1	1,72	
35,9	2,30	20,0	0,91	
29,9	1,11	13,1	2,39	
Mittel = 634,0	1,92	616,7	1,67	624,74
633,5	1,70	620,5	0,78	
36,0	2,40	15,1	1,88	
Mittel = 634,7	2,05	617,8	1,33	624,45
			Mittel = 624,59	

b.

τ	t	a	b	c		
6,30	156,32	5889,5	0,99	5841,9	1,40	
	156,42	94,5	2,05	39,5	1,94	
6,40	156,00	94,9	2,85	47,2	1,27	
	155,60	91,9	3,20	38,3	1,20	
6,45	155,67	93,9	3,30	35,3	1,44	
6,38	156,0	5892,94	2,48	5840,44	1,45	= Mittel

$x_u = 5859{,}81$; $x_t = 624{,}59$; $w_t = 5235{,}22$; $w = 5366{,}64$.

Die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur zeigt bei diesem Eisendrahte ein von den übrigen von mir untersuchten Leitern ganz verschiedenes Verhalten. Wenn man nämlich, in der Annahme, dafs der Widerstand proportional mit der Temperatur wachse, die Zunahme desselben für 1° berechnet, so ergeben sich folgende Werthe:

zwischen 5,94 und 31,68 = 12,676
31,68 » 57,03 = 14,269
57,03 » 99,43 = 15,047
99,43 » 156,00 = 16,509,

woraus man gleich ersieht, dafs die Einwirkung einer bestimmten Temperaturveränderung bei höheren Wärmegraden gröfser ist als bei niedrigen, ein Resultat, welches gerade das umgekehrte von dem ist, zu welchem ich früher beim Argentan und beim Messing gelangte.

Wegen der Sonderbarkeit dieses Verhaltens könnte man glauben, dasselbe habe darin seinen Grund, dafs der Draht durch die wiederholten Erwärmungen und Abkühlungen eine bleibende Aenderung erlitten, und dadurch der specifische Widerstand eine Zunahme erfahren hätte. Um diefs zu erforschen, wurde der Draht wieder bei einer niedrigeren Temperatur untersucht, und dabei der Widerstand desselben bei $6°,16 = 3118,59$ gefunden. Dieser Werth, auf die Temperatur $5°,94$ reducirt, giebt 3115,8, während früher bei derselben Temperatur die Zahl 3106,65 gefunden ward. Es scheint also wirklich, als sey eine bleibende Vergröfserung des Widerstandes eingetreten, aber freilich eine so kleine, dafs diese gar nicht ausreicht, um das oben erwähnte Verhalten zu erklären. Es mufs diefs also eine Folge des Gesetzes seyn, nach welchem der Widerstand des Eisens sich mit der Temperatur ändert. Berechnet man nun die wahrscheinlichsten Werthe der Factoren α, β und γ in der Gleichung: $w_t = \alpha + \gamma t + \gamma t^2$, so ergiebt sich:

$$w_t = 3028{,}06 \pm 12{,}5072 \,.\, t + 0{,}015962 \,.\, t^2,$$

welche Gleichung sich wesentlich von den für Messing und Argentan aufgestellten unterscheidet, indem in denselben das quadratische Glied ein negatives Vorzeichen hat, in dieser dagegen ein positives.

Die nach dieser Formel berechneten Werthe des Widerstandes stimmen auch gut mit den beobachteten, wie aus der folgenden Tafel zu ersehen ist:

	w_t		
t	beobacht.	berechn.	Untersch.
5,94	3106,65	3102,91	+ 3,74
31,68	3432,93	3440,29	— 7,36
57,04	3794,65	3793,25	+ 1,40
99,43	4432,69	4429,43	+ 3,26
156,00	5366,64	5367,63	— 0,99

Wenn der Widerstand des Eisens bei $0° = 100$ angenommen wird, so ergiebt sich:

$$w_t = 100 + 0{,}41304 \cdot t + 0{,}00052713 \cdot t^2,$$

woraus man ferner sieht, dafs das Eisen hinsichtlich seines Widerstandes gröfseren Aenderungen mit der Temperatur unterworfen ist, als irgend ein anderes der von mir untersuchten Metalle oder Metallgemische.

Galvanische Widerstandsmessungen, so wie Messungen überhaupt können nur dann ein allgemeines Interesse haben, wenn dabei ein unveränderliches und constantes Maafs zum Grunde gelegt ist. Als Maafs für den galvanischen Widerstand wird gewöhnlich der Widerstand angenommen, den ein Kupferdraht von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Durchmesser darbietet.

Wie bekannt ist indefs durch genaue Versuche mehrmals festgestellt worden, dafs Kupferdrähte (so wie auch andere Metalldrähte) von genau denselben Dimensionen ein sehr verschiedenes Leitungsvermögen besitzen können, je nachdem das Metall mehr oder weniger rein, mehr oder weniger gehärtet, geglüht ist u. s. w.

Wenn also ein Beobachter seine Messungen auf einen, ein zweiter die seinigen auf einen andern Kupferdraht bezieht, so haben beide zwei verschiedene Maafse (deren Verhältnifs zu einander unbekannt ist) benutzt, und die angegebenen Resultate können folglich nicht verglichen werden.

Es ist deshalb vom gröfsten Interesse, *absolute Widerstandsmessungen* ausführen zu können, ganz unabhängig von dem specifischen Widerstande irgend eines Körpers, wie

des Kupfers, nämlich durch eine eigenthümliche Combination magnetelektrischer und elektromagnetischer Beobachtungen.

Hr. Prof. W. Weber hat wie bekannt ein solches absolutes Widerstandsmaafs aufgestellt und genau definirt in seinen »*elektrodynamische Maafsbestimmungen*, insbesondere *Widerstandsmessungen*«, Leipzig 1850, woraus ich hier der Vollständigkeit halber Folgendes anführen will:

»Das Wesentliche dieser Methode läfst sich auf folgende Weise kurz ausdrücken: Betrachtet man die Intensität irgend eines galvanischen Stroms, so leuchtet ein, dafs dieselbe im Allgemeinen auf zwei wesentlich verschiedene Arten bestimmt werden kann: *erstens* aus den Ursachen, von welchen sie abhängt; *zweitens* aus den Wirkungen, welche sie hervorbringt. Die aus ihren Wirkungen definirte Stromintensität kann nun aber, wie sich leicht zeigen läfst, auf *absolutes Maafs* zurückgeführt werden, und da einleuchtet, dafs der Werth einer Stromintensität nach absolutem Maafse der nämliche seyn mufs, es möge dieselbe aus ihren Wirkungen oder aus ihren Ursachen definirt werden, so ist das Resultat, welches auf dem letzten Wege erhalten werden mufs, durch das auf dem ersten erhaltenen schon im Voraus bekannt. Nun weifs man aber, dafs die Stromintensität nur von zwei Ursachen abhängt, nämlich von der elektromotorischen Kraft und von dem Widerstande der Kette, und dafs von diesen beiden die elektromotorische Kraft auf absolutes Maafs zurückgeführt werden kann. So wie nun, wenn aufser der elektromotorischen Kraft auch der Widerstand nach absolutem Maafse gegeben wäre, der absolute Werth der Stromintensität sich unmittelbar daraus ergeben würde, ebenso ergiebt sich umgekehrt, da aufser der elektromotorischen Kraft auch die Stromintensität nach absolutem Maafse gegeben ist, der Werth des Widerstandes nach absolutem Maafse, und man sieht hieraus, dafs Widerstandsmessungen ausgeführt werden können, ohne dafs irgend ein neues willkührliches Grundmaafs dazu gebraucht wird, was zu beweisen war«.

»Leuchtet nun auch hieraus im Allgemeinen die Möglich-

keit eines absoluten Widerstandsmaafses in der angegebenen engeren Bedeutung des Wortes ein, so ist es doch noch nöthig, eine genaue Definition dieses Maafses zu geben, wenn eine wirkliche Messung nach diesem Maafse ausgeführt werden soll. Eine solche Definition findet aber eine Schwierigkeit darin, dafs sie andere absolute Maafse als bekannt voraussetzt, nämlich das absolute Maafs für die elektromotorischen Kräfte und das absolute Maafs für die (aus ihren Wirkungen bestimmten) Stromintensitäten. Es handelt sich demnach bei der Begründung eines absoluten Widerstandsmaafses im Grunde um die Feststellung eines vollständigen Systems absoluter Maafse für die ganze Elektrodynamik. Geht man noch weiter zurück, so findet man, dafs auch diese letzteren Maafse wieder andere, aufser dem Kreise der *Elektrodynamik voraussetzen*«. »*Das Maafs für den Stabmagnetismus* ist nach Gaufs (*Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata*, Göttingen 1833) der Magnetismus eines solchen Stabs, welcher, wenn er aus grofser Entfernung R auf einen andern gleich stark magnetischen Stab wirkt, dessen magnetische Axe denjenigen Graden parallel ist, welche die Mittelpunkte der beiden Magnete verbindet, während seine eigene magnetische Axe dagegen senkrecht ist, ein Drehungsmoment ausübt, welches sich zum absoluten Maafse des Drehungsmomentes wie $1 : R^3$ verhält.«

»Das Maafs für die Stärke des Erdmagnetismus an irgend einem Orte ist eben danach das nach absolutem Maafse ausgedrückte Drehungsmoment, welches der Erdmagnetismus auf einen an diesem Orte befindlichen Magnetstab ausübt, wenn letzterer das absolute Maafs Magnetismus enthält und seine magnetische Axe mit der Richtung des Erdmagnetismus an diesem Orte einen rechten Winkel macht.«

»*Das Maafs für die Stromintensität* ist die Intensität desjenigen Stroms, welcher, wenn er eine Ebene von der Gröfse des Flächenmaafses umläuft, nach den elektromagnetischen Gesetzen die nämlichen Wirkungen in die Form

ausübt, wie ein Magnetstab, welcher das vorher definirte Maafs des Magnetismus enthält.«

»*Das Maafs für die elektromotorischen Kräfte* ist diejenige elektromotorische Kraft, welche von dem vorher definirten Maafse des Erdmagnetismus auf eine geschlossene Kette ausgeübt wird, wenn letztere so gedreht wird, dafs die von ihrer Projection auf eine gegen die Richtung des Erdmagnetismus senkrechte Ebene begränzte Fläche während des Zeitmaafses um das Flächenmaafs zunimmt oder abnimmt.«

»*Das Maafs für den Widerstand* ist der Widerstand einer solchen geschlossenen Kette, in welcher durch das vorher definirte Maafs der elektromotorischen Kraft das vorher definirte Maafs der Stromintensität hervorgebracht wird.«

In der Abhandlung: *Ueber die Anwendung der magnetischen Induction auf Messung der Inclination mit dem Magnetometer*, Göttingen 1853, hat ferner Hr. Prof. Weber folgenden Ausdruck für den Widerstand (nach absolutem Maafse) gegeben:

$$W = \frac{8\pi^2}{\pi^2+\lambda^2} \cdot e^{-\frac{2\lambda}{\pi} \cdot \text{arc. tg.} \frac{\pi}{\lambda}} \frac{\lambda' \tau}{k\delta^2} \cdot (\Sigma r^2)^3 \cdot T_h^2,$$

wo W den gesammten Widerstand der ganzen Drahtkette bedeutet, die die beiden Haupttheile, Inductor und Multiplicator des von Weber construirten Inductionsmagnetometers sammt ihrer Verbindungsdrähte bildet, und wo ferner λ das sogenannte logarithmische Decrement bedeutet; λ' den Theil desselben, der durch die Schliefsung der Drahtkette herrührt; τ die Schwingungsdauer der Magnetometernadel, k das Trägheitsmoment derselben; δ den durch den ersten Inductionsstofs hervorgebrachten Ausschlag (in Theilen des Halbmessers ausgedrückt), T_h den horizontalen Component des Erdmagnetismus, und endlich r den Halbmesser der Inductorwindungen (siehe übrigens die letzte citirte Abhandlung S. 45 u. f.).

Um nun meine vorher angegebenen Messungen auf absolutes Maafs zurückführen zu können, habe ich eine absolute Widerstandsmessung angestellt. Zu diesem Zwecke

wurde ein Widerstandsetalon eingerichtet, bestehend aus einem Kupferdrahte, der, sorgfältig isolirt und auf einer Holzspule gewickelt, in einem Holzkästchen eingeschlossen ist, auf dessen Deckel zwei Klemmschrauben sich befinden, an welchen die beiden Enden dieses Drahtes angelöthet sind. Die Länge und Dicke dieses Etalondrahtes wurden mit möglichster Genauigkeit gemessen, und es ergab sich:

die Länge $= 44000^{mm}$

der Durchmesser $= 0^{mm},4768.$

(Die angegebene Gröfse des Durchmessers ist das Mittel aus 6 Messungen, die mit einem Oberhäuserschen Mikroscop mit Ocularmikrometer ausgeführt wurden).

Der Widerstand des Drahtes wurde auf folgende Weise bestimmt. Erst wurde der Etalon in die Drahtkette, die den Inductor und den Multiplicator des Inductionsmagnetometers bildet, eingeschaltet, und dann der Widerstand A dieser ganzen Drahtlänge auf die in den citirten Abhandlungen angegebene Weise gemessen; darauf wurde der Etalon eingeschaltet und sofort auf dieselbe Weise der Widerstand B des Magnetometerdrahtes für sich ermittelt. Dann war der Widerstand W des Etalons $= A - B$. Durch die nöthigen Messungen und Berechnungen ergaben sich folgende Werthe:

	Mit Etalon.	Ohne Etalon.
für δ =	0,002879307	= 0,005354906
λ =	0,078359	= 0,1429005
λ' =	0,072004	= 0,1365454
τ =	19″,242	= 19″,280495.

Das Trägheitsmoment der Magnetnadeln wurde auf folgende von Gaufs (*Intensitas vis magneticae etc.*) angegebene Weise bestimmt. Die Nadel wurde nämlich mit zwei cylindrischen Bleigewichten belastet, deren Masse gleich $2m = 200255$ Milligramm und deren Halbmesser $r = 9^{mm}$ betrug. Da ferner der Abstand zwischen der Umdrehungsaxe der Nadel und den beiden Cylinderaxen $= R\ 207^{mm},73$ war, so wurde durch diese Belastung das Trägheitsmoment vergröfsert um

$$a = m(2R^2 + r^2) = 8649490000.$$

Die Schwingungsdauer der so belasteten Nadel ergab sich $= \tau' = 29'',91098$,
der unbelasteten dagegen gleich

$$\tau'' = 19'',25345,$$

und daraus das Trägheitsmoment gleich;

$$k = \frac{a \cdot \tau''^2}{\tau'^2 - \tau''^2} = 6118783000.$$

Endlich war die horizontale Componente des Erdmagnetismus, berechnet nach der von Hrn. Prof. Weber angegebenen Secularformel (*s. Bestimmung der rechtwinkligen Componenten der erdmagnetischen Kraft in Göttingen.* Göttingen 1855, S. 29) gleich:

$$T_k = 1{,}807542,$$

und aus Zählung und Abmessung der Umwindungen des Inductors hatte sich früher ergeben:

$$\pi \Sigma r^2 = 39216930,$$

also

$$\Sigma r^2 = 12483130.$$

Diese verschiedenen Gröfsen, in die oben angegebene Gleichung eingeführt, geben folgendes Resultat:

Der Widerstand des Inductors und des Multiplicators und der Widerstand des Etalons gleich

$$A = 102919400000,$$

der Widerstand des Inductors und Multiplicators gleich

$$B = 53083230000,$$

der Widerstand des Etalons gleich

$$W = 49836170000.$$

Während der Messungen war die Temperatur im Mittel gleich 14°,6 C., so dafs also der gefundene Werth von W für diese Temperatur gilt [1]).

1) Es mufs bemerkt werden, dafs der Hr. Prof. Weber selber im Jahre 1852 den 3. August 0^h 20′ den Widerstand W gemessen hat und denselben gleich

54876000000

gefunden. Die meteorologischen Protocolle für Göttingen zeigen, dafs zu dieser Zeit die Temperatur gleich 22°,7 C. war. Wenn ich nach dem früher angegebenen Gesetz (für die Zunahme des Widerstandes des

Um nun ferner den Einfluſs der Temperatur auf den Widerstand meines Etalondrahtes direct zu bestimmen und zumal meine früheren Messungen auf absolutes Maaſs zu reduciren, wurde ein kürzeres Stück von demselben Draht abgemessen und dessen Widerstand bei 0° und 100° mit dem früher gebrauchten Maaſsdraht verglichen.

Die Länge dieses kürzeren Etalondrahtes war gleich 4055^{mm}, der Durchmesser gleich $0^{mm},4768$, also die reducirte Länge gleich 17835^{mm}. Durch Vergleichung mit dem Maaſsdraht wurde ferner gefunden (ganz auf dieselbe Weise wie früher):

Widerstand bei $0°,18 = 1624,02$
» » $99,68 = 2219,75$,

also die Zunahme des Widerstandes für 1°

$$5,98693,$$

und daraus der Widerstand bei 0°

$$1622,94,$$

und wenn dieser gleich 100 angenommen wird:

$$w_t = 100 + 0,368894 \,.\, t.$$

Dieses auf den langen Etalondraht angewandt, ergiebt für denselben die Zunahme des Widerstandes für 1° gleich

$$174447000$$

absolute Einheiten; daraus der Widerstand desselben bei 0° gleich

$$W_0 = 47289243800,$$

und der Widerstand bei irgend einer Temperatur t gleich

$$W_t = 47289243800 + 174447000 \,.\, t.$$

Hieraus ergiebt sich ferner (durch Vergleichung der Längen beider Etalondrähte) der absolute Widerstand des kurzen Etalondrahtes bei 0° gleich

$$4358350000,$$

Kupfers) den von mir gefundenen Werth für B auf diese Temperatur reducire, so ergiebt sich B gleich

$$54685000000,$$

was so nahe mit Prof. Weber's Angabe übereinstimmt wie man erwarten kann.

und da derselbe Widerstand, in Millimetern des Maafsdrahtes ausgedrückt, früher gleich

1622,94

gefunden ist, so folgt daraus, *daſs einem Millimeter des Maafsdrahtes*

2685466

absolute Einheiten entsprechen.

Nachdem nun dieser Reductionsfactor so gefunden ist, können leicht alle früheren Widerstandsmessungen auf absolutes Maafs zurückgeführt werden, wozu man nur die früher bei 0° gefundenen Widerstände mit diesem Factor zu multipliciren braucht. Dividirt man dann ferner die so bestimmten absoluten Widerstände durch die respectiven reducirten Längen der Drähte, so bekommt man *den Widerstand eines Drahtstückes von 1 Millimeter Länge und 1 Millimeter Durchmesser bei* 0° C., was ich *relativen Widerstand* nennen will, zum Unterschiede vom *specifischen Widerstand*, wodurch Prof. Weber den Widerstand eines Drahtstückes von 1 Millimeter Länge und 1 Milligramm Gewicht bezeichnet.

Nach Ausführung dieser Rechnung ergiebt sich folgende Tafel:

	Reducirte Länge.	Absoluter Widerstand.	Relativer Widerstand.
Silber	8020	1934340000	241190
Kupfer	17835	4358350000	244370
Aluminium No. 2	8794	3760458000	427616
» » 1	8867	4222628000	476218
Messing	10858	16948780000	949086
Argentan	3796	4896140000	1289815
Eisen	4999	8131590000	1626643
Blei	3035	7986580000	2631490

Wenn man nun ferner die früher aufgestellten Gesetze für die Aenderung des Widerstandes mit der Temperatur berücksichtigt, so bekommt man den Widerstand eines Drahtstückes von 1^{mm} Länge und 1^{mm} Durchmesser bei irgend einer Temperatur

für Silber	$w_t = 241190 + 823{,}471 . t$
Kupfer	$w_t = 244370 + 901{,}456 . t$
Aluminium No. 2	$w_t = 427616 + 1555{,}924 . t$
» » 1	$w_t = 476218 + 1622{,}903 . t$
Messing	$w_t = 949086 + 1577{,}381 . t - 2{,}5948 . t$
Argentan	$w_t = 1289815 + 499{,}623 . t - 0{,}71946 . t^2$
Eisen	$w_t = 1626613 + 6718{,}686 . t + 8{,}5745 . t^2$
Blei	$w_t = 2631490 + 9914{,}665.$

Setzt man wie gewöhnlich den Widerstand des Kupfers bei $0° = 100$, so ergeben sich folgende Werthe für w_t:

für Silber	$w_t = 98{,}69 + 0{,}336947 . t$
Kupfer	$w_t = 100{,}00 + 0{,}368894 . t$
Aluminium No. 2	$w_t = 174{,}98 + 0{,}636700 . t$
» » 1	$w_t = 194{,}13 + 0{,}661576 . t$
Messing	$w_t = 388{,}35 + 0{,}645399 . - 0{,}001062 . t^2$
Argentan	$w_t = 527{,}12 + 0{,}204185 . t - 0{,}000294 . t^2$
Eisen	$w_t = 665{,}62 + 2{,}749277 . t + 0{,}003409 . t^2$
Platina	$w_t = 678{,}11 + 2{,}21904 . t$
Blei	$w_t = 1076{,}8 + 4{,}057038 . t.$

Hinsichtlich dieser Verhältnifszahlen mufs noch bemerkt werden, dafs sie im Allgemeinen ganz gut mit denen früherer Untersucher übereinstimmen, mit Ausnahme des Argentans, für welches ich den Widerstand gleich 527,12 gefunden habe, während Prof. Riefs denselben gleich 1129, Frick und Müller (siehe Müller's physikalischen Bericht S. 307) gleich 1330 fanden. Diese grofse Unübereinstimmung ist indefs leicht zu erklären, wenn man bedenkt, wie verschieden das Argentan zusammengesetzt seyn kann.

Hr. Prof. Wöhler war so gut, eine quantitative Analyse des von mir gebrauchten Argentandrahtes ausführen zu lassen, wodurch sich ergab, dafs 100 Theile desselben enthalten:

61,65	Theile	Kupfer
15,75	»	Nickel
22,60	»	Zink.

Gewöhnlich enthält das Argentan eine gröfsere Menge von Nickel, bis auf 20 Proc., und da dieses Metall zu den schlechteren Leitern gehört, so liegt ohne Zweifel hierin der Grund zu dem von mir gefundenen geringen Werth des Widerstandes.

Wenn man nach den gegebenen Formeln die Widerstände bei 100° und 200° berechnet und diese mit den bekannten bei 0° zusammenstellt, so bekommt man, wie folgt, einen guten Ueberblick über die Verschiedenheit des Leitungsvermögens der Metalle bei verschiedenen Temperaturen:

	0°	100°	200°
Silber	98,69	132,39	166,08
Kupfer	100,00	136,89	173,78
Aluminium No. 2	174,98	238,65	302,32
» » 1	194,13	260,29	326,45
Messing	388,35	442,27	474,95
Argentan	527,12	544,60	556,20
Eisen	665,62	974,64	1351,84
Platina	678,11	900,01	1121,01
Blei	1076,80	1482,50	1888,20

Endlich füge ich die folgende Tafel hinzu, worin die Gleichungen für die Widerstände für den Fall berechnet sind, dafs der Widerstand bei 0° für alle Metalle gleich 100 angenommen wird:

Argentan	$100 + 0{,}038736 \cdot t - 0{,}000055776 \cdot t^2$
Messing	$100 + 0{,}16619 \cdot t - 0{,}0002034 \cdot t^2$
Platina	$100 + 0{,}32724 \cdot t$
Aluminium No. 1	$100 + 0{,}34079 \cdot t$
Silber	$100 + 0{,}34142 \cdot t$
Aluminium No. 2	$100 + 0{,}36386 \cdot t$
Kupfer (Etalondr.)	$100 + 0{,}36889 \cdot t$
Blei	$100 + 0{,}376768 \cdot t$
Kupfer	$100 + 0{,}394025 \cdot t$
Eisen	$100 + 0{,}41304 \cdot t + 0{,}00052713 \cdot t^2$

Hieraus ersieht man recht deutlich, wie ungleich der Einfluſs ist, den die Temperatur auf das Leitungsvermögen der verschiedenen metallischen Leiter ausübt [1]).

Göttingen den 15. December 1857.

1) Indessen ist auch auf der andern Seite zu bemerken, daſs die in obiger Tabelle angegebenen Coefficienten für die reinen Metalle einander merklich nahe kommen, während sie für die beiden untersuchten Legirungen, Messing und Argentan, einen bedeutend kleineren Werth haben. Nach den vorliegenden Daten wäre es also möglich, daſs man diese Coefficienten für alle Metalle vollkommen übereinstimmend finden würde, wenn man diese in absolut chemisch reinem Zustand untersuchte, und wenn die mittleren Durchmesser der untersuchten Drähte mit gröſserer Genauigkeit bestimmt würden als die, die durch Messung der Dicke an nur zwei oder drei Stellen des Drahtes möglich ist. In wie fern sich dieses so verhalte oder nicht, muſs späteren Untersuchungen überlassen bleiben.

II. *Ueber den Vertheilungs-Coëfficienten;*

von T. Bauschinger;

Lehrer der Mathematik und Physik an der Gewerbschule zu Fürth.

§. 1.

Wenn einem elektrischen Körper, Leiter oder Nichtleiter, ein neutraler isolirter Leiter genähert wird, so wird in dem letzteren Elektricität durch Vertheilung oder Influenz erregt. Die ungleichnamige Elektricität tritt in die Nähe des ursprünglich elektrischen Körpers, die gleichnamige dagegen begiebt sich in gröfsere Entfernung zurück; beide aber sind an Menge einander völlig gleich. — Wenn der genäherte neutrale Leiter nicht isolirt ist, so müssen wir ihn als einen, mit der ganzen Erde zusammenhängenden Körper betrachten, dessen Gestalt also eine ganz andere geworden ist, als sie vorhin war; dann befindet sich blofs ungleichnamige Elektricität auf demselben, von der gleichnamigen aber, die sich, wie oben in möglichst grofse Entfernung begiebt, also über die ganze Erde verbreitet, ist keine Spur wahrzunehmen.

Wird der zuvor genäherte isolirte Leiter wieder von dem ursprünglich elektrischen Körper entfernt, so zeigt er sich wieder völlig unelektrisch, und giebt eben dadurch zu erkennen, dafs er die beiden entgegengesetzten Elektricitäten in genau gleicher Menge enthalten hat. Wird der nicht isolirte Leiter entfernt, ohne dafs zuvor seine Verbindung mit der Erde aufgehoben wurde, so ist auf demselben ebenfalls keine Spur von Elektricität vorhanden, weil die auf ihm zuvor befindliche alle in die Erde abgeleitet wurde, oder, wenn man will, weil sie sich ebenfalls mit der entgegengesetzten, die sich über die ganze Erde verbreitet hatte, wieder vereinigte. Wenn aber, bevor der nicht isolirte Leiter von dem elektrischen Körper entfernt wird, erst seine Verbindung mit der Erde aufgehoben wird, so behält dieser Leiter die ungleichnamige Elektricität, und diese kann, ihrer Menge

oder ihrer Dichtigkeit nach, durch die bekannten Mittel gemessen werden. Dabei hat man stets zu berücksichtigen, dafs diefs, streng genommen, niemals die *ganze*, durch Influenz erregte ungleichnamige Elektricität ist, da in dem Drahte etc., welcher zur Ableitung benutzt worden ist, immer, wenn auch nur ein kleiner Theil enthalten ist, der mit demselben bei Aufhebung der Verbindung mit der Erde entfernt wird. Aber wo es sich um Bestimmung der influenzirten Elektricitätsmenge handelt, hat man es leicht in seiner Gewalt, diesen Ableitungsdraht so dünn zu nehmen, oder ihn an einer solchen Stelle anzubringen, dafs die mit ihm fortgenommene Elektricitätsmenge als verschwindend angesehen werden darf. Diefs werde ich in der Folge auch stets voraussetzen.

Es wird gut seyn, an dieser Stelle sogleich daran zu erinnern, dafs die auf dem nicht isolirten genäherten Leiter influenzirte Elektricitätsmenge keineswegs als gleich vorauszusetzen ist mit derjenigen, welche auf demselben, aber isolirt genäherten Leiter erregt wird; denn die Gestalt des ersteren ist als eine ganz andere zu betrachten im Vergleich mit der des letzteren, wie auch schon oben bemerkt wurde.

§. 2.

Die Menge der Influenz-Elektricität gleicher oder entgegengesetzter Art, welche ein elektrischer Körper in einem genäherten isolirten oder unisolirten Leiter erregt, steht in jedem gegebenen Fall in einem bestimmten Verhältnifs zur Menge der influenzirenden Elektricität, d. h. sie ist derselben proportional. Diefs war leicht vorauszusehen, und hat sich durch die Erfahrung in allen Fällen bestätigt. Man wird daher erstere allemal dadurch erhalten können, dafs man letztere mit einem bestimmten Factor multiplicirt, und dieser Factor wird der *Vertheilungs-Coëfficient* genannt. Es ist klar, dafs derselbe immer kleiner als Eins ist, denn höchstens in der Entfernung Null kann der ursprünglich elektrische Körper eine, der seinigen gleiche, Elektricitätsmenge influenziren. Wenn wir also E die Menge der influenzirenden Elektricität nennen, so wird Em die Menge der influen-

zirten Elektricität der einen oder der andern Art, und m der Vertheilungs-Coëfficient; es kommt also Alles darauf an, diesen kennen zu lernen, um die Menge der influenzirten Elektricität zu erhalten.

Der Vertheilungs-Coëfficient ist nun abhängig von der *Gröfse* und *Gestalt* des influenzirenden sowohl, als des influenzirten Körpers, von der gegenseitigen *Lage* der beiden Körper (abgesehen von ihrer Entfernung), von der *Materie* derselben, von der Natur des zwischen ihnen befindlichen *Nichtleiters*, (wie jetzt wohl unleugbar, namentlich durch Siemens's Versuche in diesen Annalen Band 102 S. 87 nachgewiesen ist) und von der *Entfernung* der beiden Körper.

Was zuerst die Abhängigkeit von der Gröfse, Gestalt und gegenseitigen Lage betrifft, so ist dieselbe eine doppelte, gewissermafsen eine directe und eine indirecte; denn eine Aenderung jeder von diesen dreien bringt zu gleicher Zeit eine Aenderung in der Anordnung der Elektricität unter sich, auf jedem der beiden Körper, hervor, und damit also indirect auch eine Aenderung in der Influenz. — Die Materie des einen oder des andern der beiden Körper ist, so weit wir jetzt wissen, nur insofern von Einfluſs auf den Vertheilungs-Coëfficienten, als ihr Verhalten in Bezug auf Leitung oder Nichtleitung, oder besser gesagt, auf bessere oder schlechtere Leitung der Elektricität betrifft. In einem sogenannten Nichtleiter wird, wie Riefs überzeugend nachgewiesen hat, auch Elektricität influenzirt, aber in viel geringerem Grade, als in einem Leiter, wenigstens in derselben Zeit; und ob der ursprünglich elektrische Körper ein Leiter oder Nichtleiter ist, kommt insofern in Betracht, als bei dem Nichtleiter oder besser schlechten Leiter die Anordnung seiner Elektricität durch die Rückwirkung der influenzirten Elektricität gar nicht, oder doch nur in sehr geringem Grade geändert wird, wohl aber bei einem influenzirenden Leiter. — Die Abhängigkeit des Vertheilungs-Coëfficienten von der Natur des zwischen befindlichen Nichtleiters ist zu lange bestritten worden, und die Entscheidung dieser Frage noch zu neu, als dafs bereits messende Versuche in gröfse-

rer Anzahl und mit gröfserer Genauigkeit darüber angestellt seyn könnten. Die Resultate der Faraday'schen Untersuchungen (diese Ann. Bd. 46 S. 559 ff) und die von Siemens in dem bereits oben citirten Aufsatz machen nur wenig Anspruch auf Genauigkeit. — Was endlich die Abhängigkeit des Vertheilungs-Coëfficienten von der Entfernung betrifft, so ist dieselbe ebenfalls eine doppelte; denn mit der Entfernung ändert sich zu gleicher Zeit die Anordnung der influenzirten sowohl, als der ursprünglich vorhandenen Elektricität, vorausgesetzt, dafs beide Körper Leiter sind; und mit dieser Aenderung ist eine Aenderung in der Menge der influenzirten Elektricität nothwendig verknüpft.

Man wird leicht bemerken, dafs alles Vorhergehende, sowie auch alles Nachfolgende seine strenge Gültigkeit behält, welche Theorie oder Hypothese man auch der Elektricitäts-Lehre überhaupt, und insbesondere der Vertheilung oder Influenz zu Grunde legen mag.

§. 3.

Man sieht aus dem vorhergehenden Abschnitt, mit welchen Schwierigkeiten eine genaue Bestimmung des Vertheilungs-Coëfficienten zu kämpfen hat, wenn alle die dort aufgeführten Einflüsse, denen er unterworfen ist, ihre gehörige Würdigung erhalten sollen; und doch ist dort erst der einfachste Fall berücksichtigt, wo blofs *zwei* Körper, der influenzirende und der influenzirte, einander gegenüberstehen. Noch viel schwieriger wird die Sache, wenn zwei oder mehrere neutrale Leiter zu gleicher Zeit einem elektrischen Körper genähert werden, oder wenn im Allgemeinen mehrere neutrale Körper mehreren elektrischen Körpern nahe gebracht worden sind. Dann kommen nicht blofs alle die oben aufgezählten Umstände in Betracht, sondern es ist auch, wie Munck af Rosenschöld (diese Ann. Bd. 69) gezeigt hat, in dem Fall, wo mehrere der genäherten neutralen Leiter ableitend berührt werden, die Ordnung, in welcher diefs geschieht, von Einfluss.

Auf welche Weise sich in einem solchen allgemeinen Fall

die influenzirende Wirkung eines elektrischen Körpers auf die neutralen oder elektrischen Körper vertheilt, wie diese wiederum zurückwirken, und welche Mengen von Elektricität zuletzt jeder der Körper enthält, darüber hat man nur erst wenig Aufklärung erlangen können; es können fast allein die scharfsinnigen Untersuchungen Munck af Rosenschöld's hierher gerechnet werden, welche den Fall betrachten, dafs einer elektrischen sehr dünnen Scheibe zwei neutrale, leitende, ebenfalls sehr dünne Scheiben von gleicher Gröfse genähert werden (diese Annalen Bd. 69). — Einen Satz aber haben wir, der als Anhaltspunkt bei allen diesen Untersuchungen festgehalten werden mufs; Riefs spricht denselben zuerst in bündiger Weise in seinem Briefe an Faraday (diese Ann. Bd. 97. S. 429) etwa folgendermafsen aus: Die Wirkung eines ursprünglich elektrischen Körpers in die Ferne besteht in der Anziehung der Elektricität der einen Art und Abstofsung der andern in jedem Massentheilchen, und ist unbeschränkt, das will sagen, wenn eine elektrische Partikel E auf ein Massentheilchen A wirkt, und wir ein Massentheilchen B irgendwohin setzen, so wird dadurch die Wirkung von E auf A nicht gehindert oder geschwächt, sondern besteht in demselben Betrage wie zuvor.

Aus diesem Satz, welcher aus der richtigen Einsicht in das Wesen der sogenannten gebundenen Elektricität geschöpft wurde, kann, wie man leicht sieht, der folgende, allgemeiner ausgesprochen, d. h. für jede Theorie der Elektricität passende, geschlossen werden. Die *directe* influenzirende Wirkung eines elektrischen Körpers E auf einen Körper A, also der Vertheilungs-Coëfficient zwischen den beiden, wird dadurch nicht geändert, dafs ein dritter Körper B irgend wohin gesetzt wird. — Unter »directer Wirkung« ist natürlich hierbei die *unmittelbare* Einwirkung des Körpers E auf A verstanden, denn die Gesammtwirkung, d. h. also die Gesammtmenge der Elektricität auf A, wird durch den dritten Körper B, d. h. durch die influenzirende Wirkung der Influenzelektricität derselben beteutend abgeändert.

Nachdem man jedoch weifs, dafs die Natur des zwischen

zwei Körpern befindlichen Isolators auf die gegenseitige Influenz derselben Einfluſs hat, ist vorderhand bei dem obigen Satz der Fall auszuschlieſsen, wo der dritte Körper *B* zwischen die beiden Körper *E* und *A* gesetzt wird.

§. 4.

An der Lösung der eben besprochenen complicirteren Fälle kann aber erst dann mit Hoffnung auf Erfolg gearbeitet werden, wenn man zuerst den einfachsten Fall, wo nur *zwei* Körper einander gegenüberstehen, vollständig kennen gelernt hat. Kehren wir aber wieder zu diesem zurück, so ist es gewiſs die Abhängigkeit des Vertheilungs-Coëfficienten von der *Entfernung* der beiden Körper, die sich der Untersuchung zunächst darbietet; zumal da dieselbe in allen andern im §. 2 aufgeführten Fällen direct oder indirect mit ins Spiel kommt. Wirklich sind auch fast alle bisherigen Bemühungen in Bezug auf eine messende Bestimmung des Vertheilungs-Coëfficienten allein diesem Punkte zugewendet worden, während in allen andern Fällen des §. 2 entweder nur sehr allgemein ausgesprochene, oder nur sehr annähernde und an Zahl geringe Resultate erlangt worden sind.

Deshalb sind aber die Messungen des Vertheilungs Coëfficienten bei verschiedenen Entfernungen des influenzirenden und influenzirten Körpers keineswegs sehr zahlreich. Denn in fast allen Fällen, wo man theoretisch (d. h. rechnend) oder experimentell die Influenz eines elektrischen Körpers auf einen genäherten Leiter untersucht hat, hat man sich damit begnügt, die *Anordnung* der Elektricität auf dem Einen, oder auf den beiden Körpern, d. h. die elektrische Dichtigkeit an verschiedenen Stellen derselben, zu bestimmen. Ich gebe gerne zu, daſs diese Untersuchungen practisch nützlicher waren, namentlich bei condensatorischer Wirkung [1]) der beiden Körper wegen ihrer directen Anwendbarkeit auf die

1) Ich nenne condensatorische Wirkung diejenige, welche zwischen zwei Leitern stattfindet, von denen der eine mit einer constant fliefsenden Elektricitätsquelle in Verbindung steht, der andere aber ableitend berührt ist.

Theorie des Condensators; aber sie haben sich gewifs auch zunächst dargeboten durch die gröfsere Leichtigkeit, mit welcher sie, theoretisch sowohl als experimentell, angestellt werden können. Denn auf theoretischem Wege gehen die gesuchten Unbekannten unmittelbar in die Rechnung ein, und bei experimentellen Messungen darf blofs das Probescheibchen an den bestimmten Punkt angelegt und in die Drehwaage gebracht werden, um die elektrische Dichtigkeit dieser Stelle zu erhalten.

Alle diese Untersuchungen aber lassen keinen Schlufs auf den Vertheilungs-Coëfficienten machen; denn nur auf einem Körper, der immer dieselbe Anordnung der Elektricität beibehält, ist die gesammte Elektricitätsmenge proportional der Dichtigkeit einer einzelnen Stelle; aber wir wissen ja bereits, dafs durch die Aenderung der Entfernung zwischen dem influenzirenden und influenzirten Körper auch die Anordnung der Elektricität auf jedem derselben, insofern er ein Leiter ist, eine andere wird.

So ist denn, bei Ausschliefsung aller dieser Arbeiten, welche so eben ausgesprochen wurden, und wozu diejenigen von Poisson, so wie die meisten von Riefs im fünften Kapitel des ersten «Abschnitts seiner» Lehre von der Reibungs-Elektricität» gehören, zunächst Knochenhauer, der sich bemüht, eine Formel für den Vertheilungs-Coëfficienten in seiner Abhängigkeit von der Entfernung aufzustellen, für den Fall, dafs zwei leitende *Kugeln* einander gegenüberstehen (diese Ann. Bd. 58 S. 51.). Er fand für denselben

$$m = a^{\sqrt{d}}$$

wo a eine Constante und d die Entfernung der sich zunächst stehenden Punkte der Kugeln bedeutet. Aber seine Versuche, wie natürlich die aus ihnen abgeleitete Formel, können keinen Anspruch auf Genauigkeit machen, wie Müller in seinem Bericht über die neusten «Fortschritte der Physik» [1]) hinreichend gezeigt. Bei dieser Gelegenheit theilt Müller eigene Versuche mit, die zu demselben Zweck angestellt

1) Erster Band S. 46.

wurden, nämlich das Vertheilungsgesetz aufzufinden, und gelangt mittelst derselben zu dem Resultat, dafs der Vertheilungs-Coëfficient zwischen einer leitenden Kugel und einer Platte umgekehrt proportional sey dem Quadrat der Entfernung des Mittelpunktes der Kugel von der Platte. Aber die Art und Weise der Anstellung seiner Versuche sowohl, als die Uebereinstimmung des eben ausgesprochenen Gesetzes damit, erwecken nur wenig Vertrauen. Ueberhaupt läfst sich kaum hoffen, bei solchen Körpern, bei denen die Ausdehnung nach den drei Dimensionen berücksichtigt werden mufs, auf experimentellem Wege leicht zum Ziel zu kommen, selbst bei so einfachen Körpern, wie Kugeln. Denn auch bei letzteren bleibt es immer zweifelhaft, welche Entfernung man als die am einfachsten mafsgebende zu Grunde legen soll, da der Mittelpunkt wegen der nicht gleichmäfsigen Anordnung der Elektricität während der Influenz, welche Anordnung sich sogar mit der Entfernung ändert, nicht ohne Weiteres zu bevorzugen ist.

Im 69. Bande dieser Annalen hat Munck af Rosenschöld sehr scharfsinnige Untersuchungen über den Vertheilungs-Coëfficienten zwischen zwei gleich grofsen sehr dünnen Platten angestellt, von denen die eine elektrisirt, die andere ableitend berührt ist. Er gelangt zu dem Resultat, dafs für kleine Entfernungen, welche $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ des Durchmessers der Scheiben nicht übersteigen, für den Vertheilungs-Coëfficienten die Formel

$$m = a^d$$

wo a eine Constante und d die Entfernung der Scheiben bedeutet, zu nehmen sey, aber auch da nur näherungsweise, da er in Wirklichkeit in einem weniger raschen Verhältnifs bei wachsender Entfernung abnimmt. Für gröfsere Entfernungen findet Munck af Rosenschöld den Vertheilungs-Coëfficienten umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung der beiden Scheiben. — Aber es zeigen schon diese Resultate, dafs sie das Vertheilungsgesetz nur annäherungsweise ausdrücken. Doch ist Munck af Rosenschöld

durch seine theoretischen Untersuchungen noch zu andern Resultaten gelangt, die mit der Praxis vollständig übereinstimmen. Auf diese werde ich später noch zu sprechen kommen, wenn ich sie dazu benutze, um die im Verlaufe dieses Aufsatzes aufzustellende Formel für den Vertheilungs-Coëfficienten zu prüfen.

So bleiben uns, soweit meine Kenntnifs der Litteratur dieses Gegenstandes reicht, von all den Arbeiten, welche entweder direct zur Auffindung des Vertheilungs-Coëfficienten angestellt wurden, oder aus denen derselbe doch möglicherweise gefunden werden kann, nur zwei übrig. Das sind 1) die Messungen von Riefs, die derselbe zur Bestimmung der Menge der influenzirten Elektricität für den Fall, dafs zwei gleich grofse, leitende, dünne Scheiben die Träger der influenzirenden und influenzirten Elektricität sind, angestellt, und in zwei Versuchsreihen im 1. Bande seiner »Lehre von der Reibungs-Elektricität« §. 327[b] und §. 327[c] mitgetheilt hat. 2) Die Messungen von Siemens, im 102. Bande dieser Annalen, S. 85 und 86, bei denen ebenfalls zwei gleich grofse, sehr dünne leitende Scheiben sich gegenüberstehen, die jedoch eine condensatorische Wirkung aufeinander ausüben.

Diese Versuche habe ich benutzt, um eine Formel für den Vertheilungs-Coëfficienten in dem, ihnen zu Grunde liegenden Fall aufzusuchen, und so ist dieser Aufsatz entstanden. Ich hielt gerade *diese* Versuche für geeignet dazu, weil sie mit sehr dünnen Scheiben angestellt sind, (die Platten von Riefs hatten 81,6 par. Linien Durchmesser und nur $\frac{1}{4}\frac{1}{2}'''$ Dicke, die Scheiben von Siemens waren Stanniolbelegungen), und also nicht zweifelhaft seyn kann, welche Entfernungen in die Formel einzuführen seyen. Auch ist gerade bei Scheiben zu hoffen, dafs diese Formel, trotz der doppelten Abhängigkeit des Vertheilungs-Coëfficienten von der Entfernung (s. oben §. 2) doch noch eine einfache werden könnte. Das Folgende wird zeigen, wie sich diese Hoffnung bestätigt hat.

§. 5.

Am directesten von obigen zwei Arbeiten führen natürlich bei Aufsuchung des Vertheilungsgesetzes die Riefs'schen Messungen zum Ziel; auf diese wollen wir daher zunächst unser Augenmerk richten.

Es ergeben sich von vornherein zwei Anhaltspunkte für die aufzustellende Formel des Vertheilungs-Coëfficienten; nämlich 1) mufs derselbe für sehr grofse Entfernungen der Null sich mehr und mehr nähern, und 2) mufs er der Eins immer näher kommen, wenn die Entfernung immer kleiner und kleiner, und zuletzt verschwindend klein wird. Diese Bedingungen führen zunächst auf die logarithmische Form

$$m = e^{-d}$$

wo c eine Constante und d die Entfernung der beiden Scheiben bedeutet. Vergleicht man aber diese Formel mit den Riefs'schen Messungen, so ergiebt sich, dafs sie zwar mit den für kleine Entfernungen erhaltenen Resultaten so ziemlich in Einklang zu bringen ist, aber in gröfseren Entfernungen entschieden zu kleine Resultate giebt. Diefs war auch nach den oben bereits besprochenen Resultaten Munck af Rosenschöld's gar nicht anders zu erwarten.

Um nun der Wahrheit näher zu kommen, dachte ich mir e^{-d} in eine Reihe nach d entwickelt, wodurch man erhält:

$$m = e^{-d} = 1 - dLe + \frac{d^2(Le)^2}{1.2} - \frac{d^3(Le)^3}{1.2.3} + \ldots\ldots$$

unter Le den natürlichen Logarithmus von e verstanden. Nimmt man nun für den Augenblick blofs die zwei ersten Glieder dieser Reihe, setzt also $m = 1 - bd$, wo b irgend eine Constante sey, und vergleicht diese Formel mit den Riefs'schen Messungen, so ersieht man, dafs sie *noch* kleinere Resultate bei gröfseren Entfernungen giebt, als die ganze Reihe, resp. als e^{-d}. Daraus kann geschlossen werden, dafs die Vermehrung, welche die Glieder der obigen Reihe, vom 3. ab, zu den beiden ersten hinzubringen, zwar diese dem Experiment näher bringen, aber nicht intensiv genug in diesem Sinne wirken; vergröfsert man daher diese vom 3. Gliede

beginnenden Glieder in der Weise, dafs man ihre Nenner wegläfst, so steht zu erwarten, dafs die dadurch entstehende Reihe.

$$m = 1 - ad + a^2 d^2 - a^3 d^3 + \ldots.$$

wo a eine Constante ist, der Wahrheit näher kommt. Die Summe dieser Reihe ist:

$$m = \frac{1+ad}{1} \quad (I)$$

und da diese Formel zugleich die beim Beginn dieses §. aufgestellten zwei Forderungen erfüllt, indem für $d=0$, $m=1$ und für $d=\infty$, $m=0$ wird, so ist gewifs mit grofser Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dafs sie das Vertheilungs-Gesetz für den Fall zweier gleichgrofser einander gegenüberstehender dünner Platten, von denen die eine elektrisirt, die andere ableitend berührt ist, ausdrücke oder doch wenigstens eine grofse Annäherung an dasselbe gäbe. In dem Folgenden werde ich sie nun an den Versuchen von Riefs und Siemens prüfen, sowie mit den auf theoretischem Wege von Munck af Rosenschöld erhaltenen Resultaten vergleichen, und beginnen mit den Riefs'schen Messungen.

§. 6.

Riefs experimentirte mit zwei gleich grofsen Scheiben von 81,6 par. Linien Durchmesser und $\frac{17}{24}'''$ Dicke, mit abgerundeten Rändern. In der Mitte der Rückflächen waren cylinderförmige, halbkugelig geschlossene Fortsätze angebracht, die zum Befestigen von Zu- und Ableitungsdrähten dienten. Bei der ersten Versuchsreihe (§. 329[4]) war der Fortsatz der Collectorscheibe, d. h. derjenigen, welcher Elektricität mitgetheilt wurde, durch einen $3\frac{1}{2}'''$ langen, in eine Kugel sich endigenden Draht verlängert; in dem Fortsatz der Condensatorscheibe, d. h. derjenigen, in welcher die Elektricität durch Influenz erregt wurde, war ein $131'''$ langer Draht mit Endkugel befestigt. Diese letztere wurde ableitend berührt, und der lange Fortsatz gab die durch Versuche bestätigte Versicherung, dafs alle Influenz-Elektricität erster Art auf ihm und auf der Scheibe enthalten war, selbst wenn

die Entfernung der Scheiben bis auf 50 par. Linien vergrößert wurde. Es ergaben sich folgende Werthe für den Vertheilungs-Coëfficienten:

Entfernung der Scheiben, d =	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴
Vertheilungs-Coëfficient m =	0,911	0,887	0,854	0,823	0,689	0,612	0,500	0,263

Setzt man diese Werthe für d und m in die Formel

$$m = \frac{1}{1+ad}$$

so findet man daraus folgende Werthe für die Constante a

a=0,049; 0,042; 0,043; 0,043; 0,045; 0,042; 0,050; 0,056.

Die Uebereinstimmung dieser Werthe ist allerdings nicht sehr befriedigend; aber sie zeigen doch in den letzten Entfernungen keine größere Abweichung, als in den ersten; und dazu findet diese Abweichung bei den ersten in einem entgegengesetzteren Sinne statt, als bei den letzten. Es ist also mehr Grund vorhanden, diesen Mangel an besserer Uebereinstimmung auf Schuld der Beobachtung, als Schuld der Formel zu schreiben. — Nimmt man aus den obigen Werthen von a das Mittel 0,046 und berechnet umgekehrt damit für die verschiedenen Entfernungen den Vertheilungs-Coëfficienten m, so erhält man folgende Werthe:

Entfernung d =	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴
berechn. Vertheilungs-Coëf. m =	0,916	0,897	0,845	0,813	0,685	0,592	0,521	0,303

Vergleicht man diese berechneten Werthe von m mit den obigen beobachteten, so ist die Abweichung im Ganzen ziemlich unbedeutend, und nach keiner Seite hin überwiegend Am größten ist sie bei der Entfernung von 50‴, wo sie $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{7}$ des beobachteten Werthes beträgt. Indessen weichen die bei dieser Entfernung gemachten zwei Beobachtungen, wie die Tabelle auf S. 321 des schon oft citirten Riefs'schen Werkes zeigt, auch nicht gerade unbeträchlich im Verhältniſs zu den andern von einander ab; und es war daher aller Grund vorhanden, die Formel einer weitern Prüfung an der zweiten Versuchsreihe von Riefs (S. 327*)

die mit viel gröfserer Genauigkeit angestellt zu seyn scheint, zu unterwerfen.

Bei dieser Versuchsreihe war der Fortsatz der *Collectorscheibe* mit einem 101‴ langen Draht und einer 7‴ dicken Kugel verbunden. Die Beobachtungen ergaben:

Entfernung $d=$	3‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴
beobacht. Vertheilungs-Coëf. $m=$	0,840	0,765	0,638	0,534	0,454	0,251

Diese Werthe, in unsere Formel eingesetzt geben folgende Werthe für die Constante a:

$a=0{,}063;\ 0{,}061;\ 0{,}057;\ 0{,}058;\ 0{,}060;\ 0{,}060;$

die eine viel gröfsere Uebereinstimmung zeigen. Nimmt man für a das Mittel 0,060 und berechnet damit rückwärts aus der Formel die Werthe für m, so erhält man:

Entfernung $d=$	3‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴
berechn. Vertheilungs-Coëf. $m=$	0,847	0,769	0,625	0,526	0,455	0,250

Die Uebereinstimmung dieser Werthe mit den beobachteten ist eine so vollständige, dafs man keinen Grund hat, an der Richtigkeit der gefundenen Formel zu zweifeln, und die Prüfung derselben an den Messungen von Siemens, wie an den Untersuchungen von Munck af Rosenschöld hat diese Richtigkeit nur noch bestätigt. Ehe ich aber hiezu übergehe, möchte ich mir noch erlauben, auf den Werth der Constanten a in beiden Versuchsreihen aufmerksam zu machen, der sich einmal als 0,046, das zweitemal als 0,060 ergeben hat; man sieht wie derselbe mit der Gestalt des influenzirenden Körpers zusammenhängt; er ist kleiner in der Versuchsreihe, wo der Fortsatz der Collectorscheibe nicht verlängert ist, und daraus folgt, dafs in diesem Fall der Vertheilungs-Coëfficient, und folglich die Menge der Influenz-Elektricität gröfser wird. Ein weiterer Schlufs ist hier noch nicht erlaubt, doch vielleicht trägt schon diese einfache Betrachtung dazu bei, die Ueberzeugung zu begründen, dafs eine aus den Beobachtungen abgeleitete Formel von solcher Einfachheit, wie die gefundene, doch von Werth seyn kann, zumal wenn noch

nicht abzusehen ist, wann eine theoretische Entwicklung derselben gelingen wird: Nur wenn die Abhängigkeit des Vertheilungs-Coëfficienten von der Entfernung festgestellt ist, kann man hoffen, die Abhängigkeit desselben von der Gestalt, Gröfse, Lage etc. der beiden Körper experimentell aufzufinden; denn darüber kann allein, wenigstens vorderhand bei Scheiben, die Constante a Aufschlufs geben.

Natürlich hängt der Werth der Constanten a unmittelbar von der für die Entfernung gewählten Maafseinheit ab, denn es ist ja immer

$$m = \frac{1}{1+a}$$

der Vertheilungs-Coëfficient in der Einheit der Entfernung. In obigen Versuchsreihen ist also:

$$m = \frac{1}{1+0{,}046} = 0{,}956 \text{ und } m = \frac{1}{1+0{,}060} 0{,}943$$

der Werth des Vertheilungs-Coëfficienten in der Entfernung von 1 par. Linie.

§. 7.

Wenn ich mich nun dazu wende, die Uebereinstimmung der obigen Formel mit den Siemens'schen Versuchen zu zeigen, so lege ich um so mehr Gewicht darauf, als 1) diese Uebereinstimmung darthun wird, dafs selbst eine Veränderung der Gestalt der Scheiben von der runden in die rechteckige, mit welchen letzteren Siemens experimentirt hat, nur eine Veränderung der Constanten a) nicht aber eine Aenderung in der Form des Vertheilungs-Coëfficienten hervorbringt, und damit also die letztere wiederholt nur noch mehr bestätigt; und als 2) dadurch gezeigt wird, welch einfaches und zugleich genaues Mittel die von Siemens angewandte Methode zur Messung der Influenz-Elektricität darbietet. Zuvor aber mufs ich noch folgendes vorausschicken. Bei diesen Versuchen stehen die beiden gegenüberstehenden Belegungen in condensatorischer Wirkung, da, während die eine ableitend berührt ist, der anderen aus einer constanten Elektricitätsquelle (Batteriepol)

fortwährend Elektricität zufliefst. Wenn ich also dieselben zur Prüfung der obigen Formel benutzen will, so kann diefs nur mittelst der Biot'schen Formel für den Condensator

$$E = \frac{e}{1 - m^2}$$

geschehen, in welcher E die auf der Collectorscheibe mit Hülfe der condensatorischen Wirkung angesammelte, e die auf derselben bei Abwesenheit der Condensatorscheibe enthaltene Elektricitätsmenge bezeichnet, und m wieder den Vertheilungs-Coëfficienten bedeutet. Diese Anwendung bedarf aber einer Vertheidigung gegen Riefs, der im 73. Bande dieser Annalen diese Formel fast gänzlich verwirft, und in den meisten Fällen, wo sie angewendet worden ist, gewifs mit vollem Recht. Aber anders ist diefs in unserem vorliegenden Fall, wo die Scheiben sehr dünn sind, und die Elektricität durch *dünne* Drähte auf sie oder von ihnen geleitet wird. Denn nennt man E die gesammte Elektricitätsmenge auf der Collectorscheibe, so ist es gewifs mit grofser Ueberlegenheit diese allein, welche influenzirend auf die Condensatorscheibe wirkt und auf derselben die Menge $-Em$ Influenz-Elektricität erster Art erregt. Da nun bei der geringen Dicke der beiden gleichgrofsen Scheiben auf beiden die gleiche Anordnung der Elektricität vorausgesetzt werden darf, so ist gewifs der Vertheilungs-Coëfficient von der zweiten zur ersten ebenfalls $= m$ und die zweite wird also auf der ersten die Elektricitätsmenge $+Em^2$ anziehen, welche Quantität auf dieser Scheibe zurückbleiben würde, wenn sie ableitend berührt würde. Die über dieselbe überschüssige, gewöhnlich »frei« genannte Elektricität von der Menge $E - Em^2$ mufs sich daher, im isolirten Zustand der Collectorscheibe mit der Elektricitätsquelle ins Gleichgewicht setzen, was nur dann der Fall ist, wenn sie an Menge gleich der bei Abwesenheit der Condensatorscheibe auf die Collectorscheibe übergehenden Elektricität ist. Man hat also:

$$E - Em^2 = e$$

und daraus

$$E = \frac{e}{1-m^2}.$$

In dieser Formel ist nun $m = \frac{1}{1+ad}$ zu setzen, wodurch

$$E = \frac{e}{1-\left(\frac{1}{1+ad}\right)^2} \quad . \quad . \quad . \quad (II)$$

wird, und diese Formel mufs mit den Siemens'schen Versuchen verglichen werden, um unsere aufgefundene Formel (I) für den Vertheilungs-Coëfficienten auch an diesen zu prüfen.

Die auf der Collectorscheibe angesammelte gesammte Elektricitätsmenge E mifst Siemens durch den momentanen Strom, der von der Elektricitätsquelle plötzlich auf die Scheibe überfliefst, wenn letztere mit ersterer in Verbindung gesetzt wird, während die Condensatorscheibe ableitend berührt ist. Folgendes sind die für verschiedene Entfernungen für E erhaltenen Werthe der ersten Versuchsreihe, die natürlich blofs als Proportionalzahlen zu nehmen sind (d. Ann. Bd. 102, S. 85 Tab. IV.).

Entfernung $d =$	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm
$E =$	0,5850	0,2974	0,2014	0,1547	0,1221	0,1079	0,0958

Dafs ich hier die bei Siemens in der dritten Columne stehenden unmittelbar beobachteten Werthe für $\sin\alpha$, ohne die dort angebrachte Correction genommen habe, geschah aus folgenden Gründen. Diese Correction rührt von der Ablenkung 0°,5 her, die Siemens erhalten hat, als die gegenüberstehende Condensatorscheibe isolirt war, also keine Condensation stattfand, und überhaupt nur so viel Elektricität auf die Collectorscheibe überflofs, als bei völliger Abwesenheit der Condensatorscheibe übergegangen wäre, welche Elektricität wir oben mit e bezeichnet haben. Da dieselbe aber in der gesammten Elektricitätsmenge mit enthalten seyn soll, so darf sie nach meiner Meinung nicht abgezogen werden. Siemens dagegen betrachtet nach Faraday die gewöhnlich sogenannte freie Elektricität irgend eines Conductors

als Ladung zwischen den leitenden Wänden des Zimmers und dem Conductor, hervorgebracht mittelst der Molecularwirkung des zwischenliegenden Isolators, der Luft. Aber selbst das zugegeben, so darf man doch nicht annehmen, dafs die auf der Collectorscheibe von dem Theil der Wände gebundene Elektricität, welcher ihrer Rückseite gegenüberliegt, ohne Wirkung auf die Condensatorscheibe sey, was wir thun würden, wenn wir mit Siemens $\frac{1}{2}\sin 0°,5$ von den direct erhaltenen Messungen abzögen. Wir würden dabei die »gebundene« Elektricität in demselben wörtlichen Sinne nehmen, den Riefs und Andere so oft gerügt haben. Uebrigens mufs ich gestehen, dafs es mir, trotz des von Siemens untrügbar nachgewiesenen Einflusses der Zimmerwände immer noch sehr unwahrscheinlich dünkt, dafs der *ganze* Betrag der freien Elektricität eines Körpers Product der Ladung zwischen ihm und den Wänden des Zimmers sey.

Bei dieser Gelegenheit erlaube ich mir im Vorübergehen noch folgende Bemerkung. Es ist jetzt, namentlich nach den Versuchen von Siemens (d. Ann. Bd. 102, S. 87 ff.) wohl kaum mehr zu bezweifeln, dafs der isolirende Zwischenkörper, und also auch dessen Molecüle einen Einfluſs auf die Influenz ausüben. Ob derselbe aber so zu nehmen sey, wie ihn Faraday und Siemens sich denken, als Induction von Molecül zu Molecül, oder ob nicht vielleicht eine ähnliche Einwirkung stattfindet, wie beim Durchgang des Lichts oder der Wärme durch verschieden durchsichtige, oder verschieden diathermane Körper, ist doch noch eine Frage. Denn in der so oft citirten Siemens'schen Abhandlung ist es allein der Einfluſs des Zwischenkörpers, der beweisgebend für die Molecular-Induction ist; alle andern Versuche, die Siemens als Beweis dafür anführt, lassen sich aufs Beste durch die in Deutschland bisher gebräuchliche, namentlich durch Riefs vertretene Theorie der Influenz erklären. Doch diefs würde mich hier zu weit führen, und ich will nur noch, als auch *hieher* gehörig bemerken: Wenn zugegeben wird, dafs die oben besprochene

Correction an die unmittelbar beobachteten Werthe $\sin\alpha$ nicht angebracht werden darf, so stimmen die Werthe für $\sin\alpha$ nur sehr schlecht mit dem von Siemens aufgestellten Gesetz, dafs die Ladung der Platte umgekehrt proportional ihrer Entfernung sey; und wenn dann weiter, wie sich in der Folge herausstellen wird, die Uebereinstimmung der Formel (II) mit den Beobachtungen eine bessere ist, als die des Siemens'schen Gesetzes selbst mit den corrigirten Beobachtungen, so ist wohl kein Zweifel mehr, dafs erstere an die Stelle des letzteren zu setzen ist. Diese Behauptung wird noch dadurch unterstützt, dafs das Siemens'sche Gesetz nur eine Näherung an diese Formel ist für den Fall, dafs die Entfernungen nur sehr klein sind, und dieser Einschränkung unterwirft es auch Siemens wirklich (s. S. 94).

§. 8.

Kehren wir nun zu unserer Aufgabe zurück, die im vorigen Paragraph mitgetheilten Beobachtungen mit der dort aufgestellten Formel II zu vergleichen, so hat man zunächst die Werthe von d und E in dieselbe einzusetzen. Dadurch erhält man 7 Gleichungen zwischen den zwei Constanten a und e, und diese müssen daher durch die Methode der kleinsten Quadrate gefunden werden. Ich bin jedoch bei der directen Anwendung dieser Methode auf diese Gleichungen, in welche Form ich die letzteren auch bringen mochte, entweder auf bedeutende Schwierigkeiten, oder auf solche Endgleichungen gestofsen, die die Werthe für a und e nur höchst ungenau, ja da diese Gröfsen selbst nur klein sind, eigentlich gar nicht finden liefsen: Ich zog es daher vor, einen indirecten Weg einzuschlagen, den ich mir erlaube mitzutheilen, da er vielleicht in ähnlichen Fällen mit Vortheil gebraucht werden kann. Ich verschaffte mir zunächst Näherungswerthe für a und e, und zwar dadurch, dafs ich zwei Beobachtungen (am besten natürlich zwei weit von einander entfernte, wie die 1. und 7. oder 1. und 6 etc.) mit einander verglich. Für die erste derselben sey:

$$\frac{e}{1-\left(\frac{1}{1+ad}\right)^3} = E,$$

und für die andere:

$$\frac{e}{1-\left(\frac{1}{1+ad'}\right)^2}=E',$$

so erhält man durch Division:

$$\frac{1-\left(\frac{1}{1+ad'}\right)^2}{1-\left(\frac{1}{1+ad}\right)^2}=\frac{E}{E'}$$

eine Formel, die nur noch a als Unbekannte enthält. Daraus ergiebt sich durch eine leichte Rechnung:

$$\frac{1+\frac{1}{2}ad'+2ad+a^2dd'+a^2d^2+\frac{1}{2}a^3d'd^2}{1+\frac{1}{2}ad+2ad+a^2dd'+a^2d'^2+\frac{1}{2}a^3dd'^2}=\frac{Ed}{E'd'}.$$

Führt man die Division der beiden Polynomen zur linken Hand wirklich aus, indem man sie sich nach Potenzen und Dimensionen von d und d' geordnet denkt, und begnügt man sich, als erste Näherung mit den ersten beiden Gliedern der Entwickelung, unter der Voraussetzung, dafs ad und a^2d' nur klein seyen, so erhält man:

$$1+\tfrac{3}{2}a(d'-d)=\frac{Ed}{E'd'},$$

woraus sich nun a leicht ergiebt. Gebraucht man die 1. und 7. Beobachtung, setzt also $d=1$, $d'=7$, $E=0{,}5850$ und $B'=0{,}0958$, so erhält man für $a=0{,}0142$. Bei Vergleichung der 1. und 6. Beobachtung ergiebt sich $a=0{,}0129$, und bei Vergleichung der 2. und 7. $a=0{,}151$. Als erste Näherung nehmen wir für a das Mittel $=0{,}014$. Setzt man diesen Werth in die ursprüngliche Formel:

$$E=\frac{e}{1-\left(\frac{1}{1+ad}\right)^2},$$

so erhält man aus derselben, mit den aus der ersten Beobachtung genommenen Werthen für E und d für e den Werth 0,0160; mittelst der 7. Beobachtung den Werth $e=0{,}0163$ und ähnliche, diesen ganz nahe kommende Werthe aus den andern, so dafs man:

$$a=0{,}014,\ e=0{,}016$$

als erste Näherungswerthe für diese Constanten setzen kann.

Mit denselben findet man aber nun durch Berechnung der Formel (II) für die verschiedenen Entfernungen von 1 bis 7^{mm} folgende Werthe für E:

$d=$	1^{mm}	2^{mm}	3^{mm}	4^{mm}	5^{mm}	6^{mm}	7^{mm}
$E=$	0,5839	0,2968	0,2020	0,1550	0,1263	0,1073	0,0947

deren Uebereinstimmung mit den oben angegebenen beobachteten Werthen gewifs nichts zu wünschen übrig läfst.

Wollte man aber nichtsdestoweniger eine Verbesserung der obigen Werthe von a und e suchen, so könnte dieſs leicht durch Anwendung der Newton'schen Näherungsmethode und der Methode der kleinsten Quadrate geschehen, und zwar auf folgende Weise. Nennt man für den Augenblick E_b die beobachteten, E_r die obigen, mit den Werthen $a=0{,}014$ und $e=0{,}016$ berechneten Werthe von E_b und Δa und Δe die Verbesserung dieser Werthe von a und e, so hat man nach der Newton'schen Näherungsformel:

$$E_b = E_r + \frac{dE_r}{da}\Delta a + \frac{dE_r}{de}.\Delta e,$$

worin, wie man leicht findet, die Differentialquotienten folgende Werthe haben:

$$\frac{dE_r}{da} = -\frac{e(1+ad)}{2a^2d(1+\frac{1}{2}ad)^2},$$

oder mit grofser Näherung:

$$\frac{dE_r}{da} = -\frac{e}{2a^2d}$$

und:

$$\frac{dE_r}{de} = \frac{1}{1-\left(\frac{1}{1+ad}\right)^2}.$$

Substituirt man dieselben in die obige Formel, und wendet diese sodann auf die 7 Beobachtungen an, so erhält man sieben Gleichungen zwischen Δa und Δe, aus denen sich dieselben mittelst der Methode der kleinsten Quadrate leicht finden lassen. Ich habe dafür erhalten:

$$\Delta a = -0{,}00015$$
$$\Delta e = -0{;}00013.$$

Es sind aber diese Verbesserungen so klein, und die Annäherung, die sie noch hervorbringen, so gering, dafs wir es bei den obigen Werthen von a und e belassen können.

Zur besseren Uebersicht stelle ich hier noch die beobachteten und berechneten Werthe von E zusammen:

$$E = \frac{1}{1-\left(\frac{1}{1+ad}\right)^2}$$

$$a = 0{,}014, \quad e = 0{,}016$$

Entfernung d =	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm
E beobachtet =	0,5850	0,2974	0,2044	0,1547	0,1221	0,1079	0,0958
E berechnet =	0,5839	0,2968	0,2020	0,1550	0,1263	0,1073	0,0947
Differenz	−11	−6	−24	+3	+42	−6	−11

Diese Uebereinstimmung wird kaum an der Richtigkeit der Formel zweifeln lassen.

Ich habe auch noch die Beobachtungen berechnet, welche Siemens in dem oft citirten Aufsatze in Tab. VI auf S. 86 mittheilt, und für die Constanten a und e die Werthe

$$a = 0{,}032, \quad e = 0{,}022$$

erhalten. Berechnet man mit derselben die Werthe von E aus unserer Formel:

$$E = \frac{e}{1-\left(\frac{1}{1+ad}\right)^2}$$

und stellt sie mit den beobachteten Werthen zusammen, so erhält man, die Dicke einer der von Siemens gebrauchten Gutta-Percha-Platten als Einheit der Entfernung genommen:

Entfernung = d	1	2	3	4	5	6
E beobachtet =	0,3386	0,1891	0,1305	0,1045	0,0872	0,0750
E berechnet =	0,3595	0,1882	0,1313	0,1027	0,0857	0,0742
Differenz	+209	−9	+8	−18	−15	−8

Die Differenz bei der ersten Beobachtung ist zwar etwas grofs, doch war bei dieser Versuchsreihe von vornherein keine so grofse Genauigkeit zu erwarten, wie bei der ersten.

Was nun die Constanten a und e betrifft, so ist in der

ersten Versuchsreihe der Vertheilungs-Coëfficient für 1^{mm} Entfernung und für den Zwischen-Isolator *Glas*

$$m = \frac{1}{1+1{,}014} = 0{,}986$$

und in der zweiten, für eine Entfernung gleich der Dicke einer Gutta-Percha-Scheibe, und für den Zwischen-Isolator Gutta-Percha

$$m = \frac{1}{1+0{,}032} = 0{,}969.$$

Eine Vergleichung zwischen den beiden Werthen kann jedoch nicht angestellt werden, da die Dicke einer Gutta-Percha-Platte nicht angegeben und auch nicht gesagt ist, ob beide Mal die Stanniolbelegungen von gleicher Gröfse waren.

Das e in beiden Versuchsreihen ist die Elektricitätsmenge, die sich auf der Collectorscheibe befindet, wenn keine Condensation stattfindet. Sie hängt also ab von der Stärke der Elektricitätsquelle und von der Gröfse dieser Scheibe. Da aber diese beiden Daten nicht oder nur unvollständig angegeben sind, so fehlt auch hier jedes Mittel zur Vergleichung der beiden Werthe von e in beiden Versuchsreihen. Diese Werthe entsprechen übrigens dem Sinus des Ablenkungswinkels, welchen man erhält, wenn auf die Collectorscheibe Elektricität überfliefst, ohne dafs eine condensatorische Wirkung stattfindet. Darnach wäre dieser Winkel im ersten Fall $0°,9$, im zweiten Fall $1°,3$. Hr. Siemens hat diese Elektricitätsmenge zu einem andern Zwecke auch gemessen und im ersten Fall $0°,5$, im zweiten Fall $0°,9$ gefunden. Beide Mal ist also das Resultat der Beobachtung entschieden kleiner als das der Rechnung. Es liefsen sich vielleicht manche Gründe für diese Differenz auffinden, wenn sie nicht durch die Ungenauigkeit, mit welcher die directe Messung so kleiner Gröfsen immer behaftet seyn mufs, überflüssig gemacht würden.

§. 9.

Ich habe oben §. 4 nach den theils theoretisch, theils experimentell angestellten Untersuchungen Munck af Ro-

senschöld's Erwähnung gethan, und sollte nun die für den Vertheilungs-Coëfficienten gefundene Formel auch an den von ihm gewonnenen Resultaten prüfen. Da ich aber glaube, durch Obiges die Richtigkeit der Formel hinlänglich bestätigt zu haben, so begnüge ich mich, hier einfach anzuführen, dafs diese Prüfung auch hiebei überall zu ihren Gunsten ausgefallen ist, und beschränke mich auf den folgenden Fall allein.

Man denke sich drei gleich grofse, sehr dünn leitende Scheiben A, B, C, von denen A elektrisirt, B und C aber ableitend berührt sind, und zwar erst B und dann C. Der Abstand zwischen A und B sey mit d, der zwischen B und C mit d' und der zwischen A und C mit d'' bezeichnet. Der Vertheilungs-Coëfficient von A nach B sey m, der von B auf C m' und der von A auf C sey m''. Nennt man also A die auf der Scheibe A ursprünglich befindliche Elektricitätsmenge, so influenzirt dieselbe auf B die Elektricitätsmenge $-Am$ und auf C die $-Am''$. B aber influenzirt auf C die Menge $+Amm'$, so dafs die gesammte Elektricität der Scheibe C beträgt:

$$C = -A(m'' - mm'). \qquad (1)$$

Wenn man sich nun die Scheiben A und C in unveränderlicher Stellung denkt, während B zwischen denselben hin- und herbewegt wird, so ist die Elektricitätsmenge auf C gleich Null, wenn B sehr nahe an der Scheibe C ist, und sie ist wiederum gleich Null, wenn die Scheibe B sehr nahe an der A ist; steht aber die B in der Mitte zwischen A und C, so ist die Elektricitätsmenge auf C ein Maximum. Das hat zuerst Fechner experimentell und dann Munck af Rosenschöld theoretisch und experimentell nachgewiesen, und ich will nun zeigen, dafs man das nämliche Resultat mit der gefundenen Vertheilungsformel erhält.

Für die Coëfficienten m und m' dürfen wir gewifs die Werthe:

$$m = \frac{1}{1+ad}, \quad m' = \frac{1}{1+a'd'}$$

setzen; für den Coëfficienten m'' aber sind wir, da hier

zwischen A und C noch B steht, ein Fall, für den unsere Formel noch nicht experimentell bestätigt ist, nicht berechtigt, dieselbe Form vorauszusetzen. Setzen wir daher allgemein $m'' = m''_{d''d}$, damit andeutend, dafs es eine Function von d'' und d seyn kann, und subtituiren die erhaltenen Werthe für die drei m in die obige Gleichung (1), so erhalten wir:

$$C = -A\left(m''_{d''d} - \frac{1}{(1+ad)(1+a'd')}\right),$$

oder, wenn man blofs die zwei Entfernungen d und d'', welche völlig die dritte d'_1 bestimmen, beibehält:

$$C = -A\left(m''_{d''d} - \frac{1}{(1+ad)(1+a'(d''-d))}\right). \qquad (2)$$

Mit dieser Gleichung wollen wir nun die obigen drei, durch die Erfahrung bestätigten Sätze vergleichen. 1) Für $d = d''$, d. h. für $d' = 0$ soll $C = 0$ werden, daraus würde folgen:

$$m'' = \frac{1}{1+ad''},$$

d. h. wenn die Scheibe B sehr nahe an der Scheibe C ist, so wirkt die Scheibe A gerade so auf C ein, wie wenn B gar nicht vorhanden wäre.

2) Für $d = 0$ mufs ebenfalls $C = 0$ werden; daraus folgt:

$$m'' = \frac{1}{1+a'd''},$$

d. h. wenn die Scheibe B sehr nahe an der Scheibe A ist, so wirkt diese letztere ganz ebenso direct auf C, wie wenn B gar nicht vorhanden wäre. Ohne mir aus diesen beiden Folgerungen einen Schlufs auf die directe Wirkung der Scheibe A auf C bei den Zwischenlagen von B zu erlauben, gehe ich sogleich zu dem dritten Fall über.

3) Für den Fall, dafs B in der Mitte zwischen A und C steht, d. h. für $d = \frac{1}{2}d''$ mufs C ein Maximum werden. Dabei hat man in obiger Formel (2) d'' als Constante d aber als Veränderliche zu betrachten. Setzt man nun den Differential-Quotient von C nach d genommen gleich C', so ist

die Bedingung, dafs überhaupt ein Maximum oder Minimum bei irgend einer Stellung von B zwischen A und C stattfindet, in der Gleichung:

$$C' = -A\left((m''_{d,d}) + \frac{(1+a'(d''-d))a - (1+ad)a'}{(1+ad)^2.(1+a'(d''-d))^2}\right) = 0 \quad (3)$$

enthalten, wo $(m''_{d,d})$ den Differentialquotienten von m'' in Bezug auf d bedeutet.

Der nächte Schlufs aus obiger Gleichung wäre:

$$(m''_{d,d}) = -\frac{(1+a'(d''-d))a - (1+ad)a'}{(1+ad)^2(1+a'(d''-d))^2},$$

woraus folgen würde:

$$m''_{d,d} = \frac{1}{(1+ad)(1+a'(d''-d))} + \alpha,$$

wo α eine Constante bedeutet, die nach den Betrachtungen unter No. 1 und 2 nothwendig 0 seyn müfste. Daraus würde sich aber, als Werth des Minimums, $C = 0$ ergeben, und man sieht leicht ein, dafs man hier im Verlaufe der Rechnung auf die Fälle, die unter No. 1 und 2 behandelt sind, stofsen würde.

Sieht man also von dieser Lösung der Gleichung (3) ab, so erhält man noch folgende:

$$(m''_{d,d}) = 0 \quad (4)$$

$$(1+a'(d''-d))a - (1+ad)a' = 0. \quad (5)$$

Die erste dieser Gleichungen sagt, dafs m'' unabhängig ist von d. Das heifst also, die directe Wirkung von A auf C ist ganz die nämliche, welche Stellung auch B zwischen A und C einnimmt, und da nach No. 1 und 2 diese Wirkung für $d' = 0$ und für $d = 0$ ebenso ist, wie wenn B gar nicht vorhanden wäre, so läfst sich jetzt behaupten, dafs bei allen Stellungen von B zwischen A und C die Scheibe A direct stets gerade so auf C wirkt, als wenn B gar nicht vorhanden wäre, dafs also alle Veränderung der Influenz-Elektricität auf C bei Veränderung der Stellung der Scheibe B allein dem veränderten Einflufs von B zugeschrieben werden mufs. Diefs stimmt auf merkwürdige Weise mit den Ansichten von Riefs überein, die er in seinem Briefe an Fa-

raday (diese Annalen Bd. 97) entwickelt hat: ich erlaube mir aber nicht, daraus einen Schluſs gegen die Theorie der Molecularwirkung bei der Influenz zu machen, da gegen denselben auf jeden Fall die von uns vorausgesetzte sehr geringe Dicke der Scheibe eingewendet werden kann. Aus der Gleichung (5) folgt nun für den Fall des Maximums:

$$d = \frac{a - a' + aa'd'}{2aa'}. \qquad (6)$$

Da aber die Scheiben von gleicher Gröſse und sehr dünn vorausgesetzt worden sind, so können wir ohne Bedenken $a = a'$ setzen (auch Munck af Rosenschöld nimmt in seinem theoretischen Beweise des obigen Satzes eine gleiche Form des Vertheilungs-Coëfficienten zwischen A und B, sowie zwischen B und C stillschweigend an) und erhalten dadurch:

$$d = \tfrac{1}{2}d'$$

in Uebereinstimmung mit dem obigen Satz.

Fechner hat zwar dieses Maximum der Wirkung auf C auch dann erhalten, wenn C durch ein Elektroskop ersetzt war und B in der Mitte oder wenigstens nahezu in der Mitte von A und C stand. Da nun hiebei gewiſs nicht mehr $a = a'$ zu setzen ist, was wir oben nothwendig voraussetzen muſsten, so scheint das im Widerspruch mit dem Obigen zu stehen. Aber abgesehen von der geringen Genauigkeit, die dieser Versuch in Bezug auf das Messen der Entfernungen nur geben konnte, verschwindet dieser Widerspruch, wenn man bedenkt, daſs zwischen zwei Körpern, wie die Scheibe B und das Elektroskop C überhaupt nicht mehr die Form $\frac{1}{1+ad}$ des Vertheilungs-Coëfficienten angewendet werden darf.

Uebrigens lege ich eben kein groſses Gewicht auf die Uebereinstimmung der für den Vertheilungs-Coëfficienten aufgestellten Formel mit den oben besprochenen Untersuchungen. Denn der theoretische Beweis, den Munck af Rosenschöld für den obigen Satz vom Maximum gegeben hat, ist gültig für jede Form des Vertheilungs-Coëf-

ficienten zwischen A und B oder B und C, wenn nur diese Form beide Mal die nämliche ist, und die Bedingung erfüllt, dafs wenn m_1, m_2, m_3 die Werthe des Vertheilungs-Coëfficienten für irgend drei gleich weit aus einander liegende Entfernungen sind, stets $\frac{m_3}{m_2} > \frac{m_2}{m_1}$ ist, vorausgesetzt, dafs m_1 zu der kleinsten, m_3 zu der gröfsten der drei Entfernungen gehört. Die bewiesene Uebereinstimmung sagt uns also blofs, dafs unsere Formel auch diese allgemeine Bedingung erfüllt, was auch direct leicht nachgewiesen werden kann.

§. 10.

Ich glaube nun durch das Vorhergehende hinlänglich gezeigt zu haben, dafs die Formel

$$m = \frac{1}{1 + ad}$$

für den Vertheilungs-Coëfficienten mit allen den bisher über denselben angestellten und mir bekannt gewordenen Untersuchungen in vollkommnem Einklang steht. Sie gilt bis jetzt natürlich blofs für den Fall, dafs zwei dünne gleich grofse leitende Scheiben einander parallel so gegenüberstehen, dafs die Verbindungslinie ihrer Mittelpunkte senkrecht auf ihren Flächen steht, und dafs die influenzirte ableitend berührt ist. Wahrscheinlich wird man sie jedoch, trotz der guten Uebereinstimmung mit den Beobachtungen nur als Näherungswerth, oder als das erste Glied der Entwicklung der vollständigen Formel zu betrachten haben, die jedoch nur auf theoretischem Wege gefunden werden kann. Ob sie auch noch gilt, wenn die Scheiben von ungleicher Gröfse sind, oder sich in anderer Lage gegenüberstehen, und welche Formeln für die Fälle in Anwendung kommen, wo anders gestaltete Körper, wie Kugel etc., influenzirend auf einander wirken, das sind Fragen, die alle noch zu beantworten sind, und viel Arbeit erfordern, sey diese experimenteller oder theoretischer Art. Aber eben weil diese Untersuchungen so viel Zeit und Kraft erfordern, habe ich geglaubt die

Zusammenstellung desjenigen, was bisher auf diesem Felde geleistet worden ist, dürfte keine unnöthige Mühe, und der Mittheilung werth seyn.

Fürth, im Januar 1858.

III. *Ueber die Zusammensetzung der in der Natur vorkommenden Tantalsäure haltigen Mineralien; von Heinr. Rose.*

Das Tantal gehört zu den seltensten Metallen; die Verbindungen, in denen es enthalten ist, sind bisjetzt nur mit Sicherheit in Finnland, in Schweden und in Frankreich gefunden worden.

In seinen Verbindungen in der Natur ist das Tantal als Tantalsäure enthalten. Die wichtigsten aller in der Natur sich findenden Tantalsäure-Verbindungen sind die Tantalite von Finnland, wo sich dieselben an mehreren Orten, vorzüglich wie wir diefs aus A. E. Nordenskiöld's (des jüngeren) Beschreibungen wissen [1]) zu Skogböle im Kirchspiel Kimito und zu Härkäsaari im Kirchspiel Tammela finden. Der Tantalit ist darauf von Berzelius in Finbo und Broddbo bei Fahlun in Schweden entdeckt worden, aber nur in geringer Menge und von einer andern Zusammensetzung [2]). Endlich hat in neuerer Zeit Damour reinen Tantalit von Chanteloube bei Limoges in Frankreich untersucht [3]).

Diese Fundorte sind die einzigen, wo wahrer Tantalit, der Tantalsäure enthält, vorkommt. Ob dieselbe in anderen untersuchten Verbindungen enthalten ist, in denen sie bis-

1) Pogg. Ann. Bd. 101, S. 625.

2) *Afhandlingar i Fysik, Kemi och Mineralogie, Bd.* 4, *S.* 148 und 262.

3) *Annales d. Mines Bd.* 13, S. 337.

weilen angegeben wird, oder ob sie in denselben mit einer Säure des Niobs verwechselt worden, ist noch nicht mit Sicherheit ermittelt. Nur die metallische Säure aus den Yttrotantaliten von Ytterby in Schweden ist Tantalsäure.

Alle diese Tantalsäure-haltigen Mineralien sind in meinem Laboratorium mit Sorgfalt untersucht worden. Bei diesen Untersuchungen sind alle die Erfahrungen benutzt, die bei meinen Untersuchungen über die Tantalsäure gesammelt worden, und durch welche es gelang, den Gang der Untersuchung Tantalsäure-haltiger Verbindungen so abzuändern, dafs die Zusammensetzung derselben, wie ich glaube, richtiger erkannt werden konnte. Ich halte es daher für nothwendig, das Verfahren, das bei der Analyse befolgt wurde, umständlicher zu beschreiben, als es bei Mineralien nothwendig ist, welche mehr bekannte Bestandtheile enthalten. Vielleicht nur wenige Chemiker haben Gelegenheit gehabt durch eigne Untersuchungen mit einer so seltenen Substanz, wie es die Tantalsäure ist, selbst zu arbeiten, und ihr Verhalten gegen andere Körper durch eigne Anschauungen kennen zu lernen.

I. Tantalite aus Finnland.

1. Tantalit von Kimito.

Dieser Tantalit ist zuerst von Berzelius quantitativ analysirt worden [1]), nachdem schon früher Ekeberg die Gegenwart des Tantals darin nachgewiesen hatte [2]). Der Gang, den Berzelius dabei befolgte, war der, dafs er das Mineral mit saurem schwefelsaurem Kali schmelzte, die geschmolzene Masse mit Wasser auslaugte, den unlöslichen Rückstand mit Schwefelammonium und darauf mit Chlorwasserstoffsäure digerirte. Aus der Lösung in Schwefelammonium erhielt er das Zinnoxyd, und aus der wässerigen Lösung der geschmolzenen Masse, sowie aus der chlorwasserstoffsauren des unlöslichen Rückstandes die Oxyde des Eisens und des Mangans. Das Resultat der Analyse war:

1) *Afhandlingar i Fysik etc. Bd.* 4, *S.* 262.
2) Crell's chemische Annalen 1803 Bd. 1, S. 16.

Tantalsäure	83,2
Zinnoxyd	0,6
Eisenoxydul	7,2
Manganoxyd	7,4
Spur von Kalkerde	
	98,4.

Das specifische Gewicht dieses Tantalits ist von Berzelius nicht angegeben worden.

Bei der Verwandlung der Tantalsäure, welche ich aus dem Tantalit von Kimito erhalten hatte, in Tantalchlorid hatte ich oft zu bemerken Gelegenheit gehabt, dafs neben dem festen Tantalchlorid nicht unbedeutende Mengen von einer flüssigen Chlorverbindung sich zeigten, die ich für Zinnchlorid erkannte. Die angewandte Tantalsäure war nach der Methode von Berzelius mit Schwefelammonium digerirt worden. Es ergab sich hieraus, dafs eine Behandlung mit Schwefelammonium nicht hinreichend sey, der Tantalsäure alles Zinnoxyd zu entziehen.

Es mufste also die Methode der Untersuchung der Tantalite modificirt werden. Ich will die, welche in meinem Laboratorium durch Hrn. Weber ausgeführt wurde, an einem Beispiele ausführlich beschreiben.

3,907 Grm. bei 100° getrocknet, fein präparirten Pulvers des Tantalits von Kimito wurden im Platintiegel mit saurem schwefelsaurem Kali so lange geschmolzen, bis es sich völlig in demselben gelöst hatte. Nach dem Erkalten wurde die geschmolzene Masse mit Wasser aufgeweicht, das Ungelöste abfiltrirt und mit heifsem Wasser ausgewaschen.

Durch die filtrirte Flüssigkeit wurde Schwefelwasserstoffgas geleitet; es entstand dadurch ein sehr geringer braungelber Niederschlag, der nach dem Filtriren und Aussüfsen beim Zutritt der Luft geglüht wurde. Er wurde darauf mit Salpetersäure befeuchtet, und von Neuem beim Zutritt der Luft stark geglüht. Er wog 0,005 Grm. und bestand aus Zinnoxyd mit Spuren von Kupferoxyd.

Die von dem durch Schwefelwasserstoff entstandenen Niederschlage abfiltrirte Flüssigkeit wurde mit Ammoniak

gesättigt und mit Schwefelammonium versetzt, wodurch Schwefeleisen und Schwefelmangan gefällt wurden. In der davon getrennten Flüssigkeit konnte nichts mehr aufgefunden werden.

Der im Wasser unlösliche Rückstand der geschmolzenen Masse wurde nach dem Trocknen mit einem gleichen Gewichte von kohlensaurem Natron und von Schwefel zusammengeschmolzen. Die geschmolzene Masse mit Wasser behandelt hinterliefs Ungelöstes, das mit sehr verdünntem Schwefelammonium ausgewaschen wurde. Das Filtrat gab mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure übersättigt einen bedeutenden gelben Niederschlag von Schwefelzinn. Nach dem Erhitzen der Flüssigkeit, und nachdem sich die Fällung vollkommen abgesetzt hatte, wurde filtrirt und ausgewaschen. Nach dem Trocknen wurde das Schwefelzinn in einem Porcellantiegel sehr gelinde beim Zutritt der Luft erhitzt, darauf geglüht, sodann nach dem Erkalten mit etwas Salpetersäure befeuchtet, erhitzt und wiederum geglüht. Das Gewicht des erhaltenen Zinnoxyds betrug 0,373 Grm. — Die vom Schwefelzinn getrennte Flüssigkeit war farblos, und gab mit Galläpfelaufguſs keine Fällung.

Der grofse Zinnoxydgehalt im Kimito-Tantalit war etwas so Unerwartetes, dafs das Oxyd auf seine vollkommene Reinheit geprüft werden mufste. Es mufste besonders darauf gesehen werden, ob es Tantalsäure enthielt. Es wurde im Silbertiegel mit Natronhydrat geschmolzen. Die erkaltete Masse löste sich vollständig in Wasser auf, und hinterliefs nur einen aufserordentlich geringen schwarzen Rückstand, der bei genauer Untersuchung nur aus Silber bestand. Die Lösung des zinnsauren Natrons wurde mit Chlorwasserstoffsäure sauer gemacht, wodurch eine weifse flockige Fällung entstand, die sich durch einen Ueberschufs von Chlorwasserstoffsäure wieder löste. Durch Uebersättigung mit Ammoniak entstand nur ein sehr geringer Niederschlag, der sich durch Schwefelammonium vollständig löste. Aus der Lösung wurde durch Chlorwasserstoffsäure wieder nur gelbes Schwefelzinn gefällt, das, als es auf die eben be-

schriebene Weise in Zinnoxyd verwandelt wurde, 0,372 Grm. wog. Es wurde ferner durch Wasserstoffgas reducirt und gab genau die entsprechende Menge vom Metall im geschmolzenen Zustande.

Der mit kohlensaurem Natron und Schwefel geschmolzene und ausgewaschene Rückstand wurde mit Chlorwasserstoffsäure digerirt und ausgewaschen. Das saure Filtrat wurde mit Ammoniak gesättigt und mit Schwefelammonium versetzt. Der entstandene schwarze Niederschlag bestand aus Schwefeleisen und Schwefelmangan. Er wurde mit dem vereinigt, der früher erhalten worden, dann in Chlorwasserstoffsäure gelöst, das Eisenoxydul zu Oxyd oxydirt, und vom Manganoxydul durch bernsteinsaures Ammoniak getrennt. Ich halte diese Methode der Trennung, obgleich sie wenig mehr angewandt zu werden scheint, noch immer für eine der besten. Es wurden 0,426 Grm. Eisenoxyd und 0,182 Grm. Manganoxydoxydul erhalten.

Die mit Chlorwasserstoffsäure behandelte und ausgewaschene Tantalsäure wog nach dem Glühen 3,306 Grm. Sie hatte aber durchs Schmelzen mit kohlensaurem Natron und Schwefel Natron aufgenommen, das durch verdünnte Chlorwasserstoffsäure ihm nur in geringer Menge entzogen werden konnte. Sie wurde daher mit saurem schwefelsaurem Kali zusammengeschmelzt, und die geschmolzene Masse auf die gewöhnliche Weise behandelt. Die ausgewaschene Tantalsäure wog nun 2,958 Grm.

Die Analyse des Tantalits von Kimito wurde an anderen Stücken, welche ich zu einer andern Zeit erhalten hatte, auf dieselbe Weise wiederholt. 2,898 Grm. des bei 130° getrockneten fein präparirten Pulvers gaben 2,226 Grm. Tantalsäure, 0,265 Grm. Zinnoxyd, welche durch die Reduction vermittelst Wasserstoffgases sich in 0,209 Grm. metallisches Zinn verwandelten, 0,275 Grm. Eisenoxydul, 0,124 Grm. Manganoxydul, 0,002 Grm. Kupferoxyd und 0,012 Grm. Kalkerde. Letztere wurde in den von den Schwefelverbindungen des Eisens und des Mangans getrennten Flüssigkeiten durch Oxalsäure abgeschieden.

Die Zusammensetzung der beiden untersuchten Tantalite im Hundert ist daher:

	I	Sauerstoff	II	Sauerstoff
Tantalsäure	75,71	14,29	76,81	14,49
Zinnoxyd	9,67	2,07	9,14	1,95
Eisenoxydul	9,80	2,17	9,49	2,11
Manganoxydul	4,32	0,97	4,27	0,96
Kupferoxyd	Spur		0,07	0,01
Kalkerde			0,41	0,12
	99,50		100,19	

Das specifische Gewicht des Tantalits von der Analyse II war 7,270 in Stücken und 7,277 als grobes Pulver.

Das specifische Gewicht der erhaltenen Tantalsäure war 7,055 nach dem Rothglühen, aber 7,986, nachdem sie ½ Stunden einem Weifsglühen ausgesetzt worden.

Aufser diesem sehr zinnhaltigen Tantalit von geringerem specifischem Gewichte kommt bei Kimito noch ein anderer von gröfserer Dichtigkeit vor, der nur sehr geringe Mengen von Zinnoxyd und von Manganoxydul enthält, und in seiner Zusammensetzung dem Tantalite von Tammela gleichkommt. Aus dem Nachlasse von Ekeberg erhielt Berzelius Tantalit von der Dichtigkeit 7,936, der nach ihm folgende Zusammensetzung hatte:

Tantalsäure	85,85
Zinnoxyd	0,80
Eisenoxydul	12,94
Manganoxydul	1,60
Kalkerde	0,56
Kieselsäure	0,72
	102,47.

Wegen des Gewichtsüberschusses in der Analyse glaubte Berzelius sich berechtigt, in diesem Tantalite zum Theil eine niedrigere Oxydationsstufe des Tantals anzunehmen. A. E. Nordenskiöld hat indessen darauf aufmerksam gemacht, dafs in Kimito aufser den zinnoxydhaltigen Tantaliten auch noch andere von einer ähnlichen Zusammensetzung vorkommen, wie sie die Tantalite von Tammela zeigen, welche

ein höheres specifisches Gewicht haben. So hat Nordenskiöld selbst ganz nach der eben beschriebenen Methode, einen Tantalit von Kimito von der Dichtigkei 7,85 von folgender Zusammensetzung untersucht:

Tantalsäure	84,44
Zinnoxyd	1,26
Eisenoxydul	13,41
Manganoxydul	0,96
Kupferoxyd	0,14
Kalkerde	0,15
	100,36 [1]).

Diese Zusammensetzung stimmt mit der oben mitgetheilten von Berzlius überein, welche Analyse daher auch vielleicht richtig ist, obgleich dabei die Tantalsäure nicht mit einer Mengung von kohlensaurem Natron und Schwefel geschmelzt worden war.

2. Tantalit von Tammela.

Diese Tantalite enthalten eine nur sehr geringe Menge von Zinnoxyd und von Manganoxydul, und bestehen vorzüglich nur aus tantalsaurem Eisenoxydul. Alle, welche in meinem Laboratorium untersucht worden sind, scheinen mit sehr kleinen Abweichungen von derselben Zusammensetzung zu seyn.

Die Tantalite von Tammela haben zwar alle ein höheres specifisches Gewicht als die viel Zinnoxyd haltigen von Kimito. Es ist indessen bemerkenswerth, dafs die Dichtigkeit der Tantalite von Tammela bei derselben Zusammensetzung eine sehr verschiedene seyn kann.

Der Tantalit von Tammela ist von Hrn. Weber ganz auf dieselbe Weise untersucht worden, wie der von Kimito. Der untersuchte hatte ein specifisches Gewicht von 7,383 in Stücken und von 7,414 in Pulver. 3,757 Grm. bei 120° getrocknet gaben 3,152 Grm. Tantalsäure, 0,025 Grm. Zinnoxyd, 0,577 Grm. Eisenoxyd, 0,030 Grm. Manganoxydoxydul und 0,004 Grm. Kupferoxyd. Der Tantalit war ganz

1) Pogg. Ann. Bd. 101, S. 630.

frei von Kalkerde. Im Hundert ist die Zusammensetzung daher:

		Sauerstoff
Tantalsäure	83,90	15,82
Zinnoxyd	0,66	0,14
Eisenoxydul	13,81	3,06
Manganoxydul	0,74	0,16
Kupferoxyd	0,11	0,02
	99,22.	

Der Tantalit von Tammela ist schon in früheren Zeiten in meinem Laboratorium untersucht worden [1]), aber nach der älteren Methode von Berzelius, da mir damals noch der grofse Zinngehalt in den Tantaliten von Kimito unbekannt war. Da indessen die Tantalite von Tammela nur sehr geringe Mengen von Zinnoxyd enthalten, so ist bei der Untersuchung derselben das Schmelzen der erhaltenen Tantalsäure mit einem Gemenge von kohlensaurem Natron und Schwefel kaum nöthig, und die damals erhaltenen Resultate sind deshalb gewifs ganz richtig; auch stimmen sie mit den von Hrn. Weber erhaltenen überein. Ich will sie im Zusammenhange hier mit anführen.

	I.	II.	
Tantalsäure	84,15	84,70	
Zinnoxyd	0,32	0,50	
Eisenoxydul	14,68	14,29	
Manganoxydul	0,90	1,78	
Kupferoxyd (unrein)	1,81	0,04	
Kalkerde	0,07	101,81	(Brooks)
	101,93 (Jacobson)		

Auch Nordenskiöld d. ält. hat vor längerer Zeit einen Tantalit, wahrscheinlich von Tammela von dem specifischen Gewichte 7,264 untersucht, der folgende ganz ähnliche Zusammensetzung hat [2]):

1) Pogg. Ann. Bd. 63, S. 331.
2) Pogg. Ann. Bd. 50, S. 658.

Tantalsäure	83,49
Zinnoxyd	Spur
Eisenoxydul	13,75
Manganoxydul	1,12
	98,36.

Aus diesen Untersuchungen ergiebt sich, dafs, wie dieſs auch A. S. Nordenskiöld hervorgehoben hat, bei Kimito zwei Arten von Tantalit vorkommen, von denen der eine sich durch einen grofsen Gehalt von Zinnoxyd und gröfseren Gehalt von Manganoxydul so wie durch eine geringere Dichtigkeit auszeichnet, der andere bei einem gröfseren specifischen Gewichte nur Spuren von Zinnoxyd und sehr kleine Mengen von Manganoxydul enthält. Bei Tammela hingegen scheint nur eine Art des Tantalits vorzukommen, der mit der letzteren Art des Tantalits von Kimito übereinkommt.

Ich lasse es dahin gestellt, ob bei Tammela nicht auch Tantalite mit grofsem Zinngehalte und gröfserem Manganoxydulgehalte vorkommen können. Vor längerer Zeit untersuchte Hr. Wornum in meinem Laboratorium einen Tantalit, angeblich aus Tammela, den ich von Hrn. Baron v. Meyendorf erhalten hatte. Obgleich er bei der Untersuchung die alte Methode angewandt, und die erhaltene Tantalsäure nicht durchs Schmelzen mit einem Gemenge von kohlensaurem Natron und Schwefel gereinigt hatte, so fand er darin einen ziemlich bedeutenden Gehalt an Zinnoxyd und an Manganoxydul. Das specifische Gewicht des Tantalits war auch nur ein geringes, 7,12 bis 7,15. Die gefundene Zusammensetzung war folgende:

Tantalsäure	77,831
Zinnoxyd	6,807
Eisenoxydul	8,474
Manganoxydul	4,885
Kupferoxyd (unrein)	0,241
Kalkerde	0,497
	98,735

E. A. Nordenskiöld ist der Ansicht, dafs dieser Tan-

talit ein Tantalit aus Kimito gewesen, und dafs er nur durch eine Verwechselung für einen Tammela-Tantalit ausgegeben sey.

Der Tantalit mit sehr geringen Mengen von Zinnoxyd und Manganoxydul kommt also bei Tammela und auch bei Kimito vor; der Tantalit mit grofsem Zinn- und Mangangehalt kommt nur bei Kimito vor.

A. E. Nordenskiöld will auch einen Unterschied in der Krystallform bei beiden Tantaliten gefunden haben; er nennt den Tantalit von Tammela und Kimito, der vorzüglich nur aus tantalsaurem Eisenoxydul besteht vorzugsweise Tantalit, und den Tantalit von Kimito, welcher aufserdem noch eine bedeutende Menge von zinnsaurem Manganoxydul enthält, Ixiolit.

Bemerkenswerth ist, wie schon angeführt worden, die verschiedene Dichtigkeit der eigentlichen Tantalitevon Tammela. Der Ixiolit, oder der stark zinn- und manganhaltige Tantalit von Kimito hat nach allen Versuchen eine geringere Dichtigkeit, und diese scheint von dem gröfseren Zinngehalt herzurühren. Sie schwankt nach vielen Versuchen, die Nordenskiöld angestellt hat, zwischen 7,006 bis 7,119, und bei Stücken, welche deutlich etwas von der anderen Tantalitart eingemengt enthielten, zwischen 7,101 bis 7,247.

Der reinere Tantalit von Kimito, der fast nur aus tantalsaurem Eisenoxydul besteht und nur sehr geringe Mengen von Zinnoxyd und Manganoxydul enthält, hat ein weit höheres specifisches Gewicht, das nach Nordenskiöld zwischen 7,822 bis 7,940 schwankt.

Dieselbe Tantalitart indessen von Tammela hat zwar im Allgemeinen eine höhere Dichtigkeit als der Ixiolit; sie schwankt aber nach Nordenskiöld zwischen 7,943 bis 7,311, während die Zusammensetzung nach den oben angeführten Analysen fast dieselbe zu seyn scheint.

Nordenskiöld schreibt diese auffallende Thatsache dem Umstande zu, dafs man gezwungen ist, bei Tammela zum Losbrechen des Steines sich des Feuers zu bedienen. Die Tantalite werden dadurch geglüht, und sind darauf

längere Zeit der Luft ausgesetzt. Wir werden aber weiter unten sehen, dafs auch andere Ursachen zu der verschiedenen Dichtigkeit der Tantalite Veranlassung geben können.

Es ist schwer, aus den angeführten Analysen eine rationelle Formel für die Zusammensetzung zu entwickeln. Man sieht deutlich, dafs in den zinnhaltigen Tantaliten das Zinnoxyd die Tantalsäure ersetzen kann, und es ist diefs auch, wie ich schon früher bemerkte [1]), einer von den Gründen gewesen, die mich bewogen haben, in der Tantalsäure 2 Atome Sauerstoff anzunehmen. Auch hat Berzelius schon vor langer Zeit in einem Zinnstein von Finbo bei Fahlun, der bisweilen in Quadratoctaëdern krystallisirt vorkommt, Tantalsäure gefunden, so wie andrerseits in einem Tantalit von demselben Fundorte, dessen Dichtigkeit er nicht bestimmt hat 16,75 Proc. Zinnoxyd, und in einem anderen sogar 83,65 Proc. Diese Tantalite wurden von Berzelius nicht durch saures schwefelsaures Kali zersetzt, sondern durch Kalihydrat, wodurch die nachherige Trennung des Zinnoxyds von der Tantalsäure besser bewirkt wurde [2]).

Es fragt sich indessen, ob der ganze Eisengehalt in den Tantaliten als Oxydul anzunehmen ist, wie es bei der Aufstellung der Resultate geschehen. Ich habe hierüber viele Untersuchungen angestellt. Das feine Pulver der Tantalite wurde mit einem Gemenge von gepulvertem geschmolzenem Borax und reiner geschmolzener Borsäure gemengt, in einem gut verschlossenen kleinen Platintiegel kurze Zeit dem Weifsglühen ausgesetzt, und dann schnell erkaltet. Der kleine Platintiegel stand in einem gröfseren, und dieser wiederum in einem dritten. Die Zwischenräume zwischen allen Tiegeln waren mit gebrannter Magnesia ausgefüllt, die fest eingedrückt worden, so dafs bei dem schnellen Erkalten nicht atmosphärische Luft eindringen konnte. Die geschmolzene Masse wurde fein gepulvert, und in einem verschlossenem Glase, das mit Kohlensäuregas angefüllt wor-

1) Pogg. Ann. Bd. 99, S. 84.

2) *Afhandlingar i Fysik, Kemi och Mineralogi Bd.* 4, *S.* 161.

den, mit Chlorwasserstoffsäure behandelt. Durch kohlensaure Baryterde konnte dann nur eine höchst geringe Menge von Eisenoxyd gefällt werden, und dem Anscheine nach kleinere Mengen, als Wolfram bei gleicher Behandlung gab. Ich glaube mit Sicherheit annehmen zu können, dafs das Eisen als Oxydul in den Tantaliten enthalten sey.

Die Formel des Tantalits wird aber dadurch keine einfache. In dem zinnhaltigen Tantalit von Kimito beträgt der Sauerstoff der Tantalsäure und des Zinnoxyds fünf Mal so viel als der der Basen, in dem Tantalit von Tammela ist der Sauerstoff der Tantalsäure um etwas geringer, aber doch mehr als vier Mal so viel als in den Basen. Nehmen wir das Sauerstoffverhältnifs in den Basen und in der Tantalsäure wie 1 : 5 an, so würde die Zusammensetzung des Tantalits durch $2\dot{R} + 5\ddot{T}a$ ausgedrückt werden können.

Eine solche Zusammensetzung ist aber eine unwahrscheinliche. Bei der Untersuchung der tantalsauren Salze habe ich zwar bei den Verbindungen der Tantalsäure mit dem Kali und dem Natron Verbindungen ähnlicher Zusammensetzung erhalten, aber zugleich darauf aufmerksam gemacht, dafs sie keine bestimmte Verhindungen wären. Ich erhielt sie aus den neutralen Salzen durch Zersetzung derselben durch Wasser, durch kohlensaures Ammoniak und durch andere Einflüsse.

Auf ähnliche Weise kann aber aus dem reinen tantalsauren Eisenoxydul des Tantalits von Tammela Eisenoxydul durch den lange dauernden Einflufs von Wasser, das Kohlensäure enthält, ausgewaschen seyn, während dieselben auf die Tantalsäure keine lösende Kraft ausübte. Es mufste sich dadurch eine Verbindung mit mehr oder weniger Ueberschufs an Tantalsäure bilden.

Man wird vielleicht diese Ansicht für eine zu willkührliche halten. Ich glaube indessen dieselbe durch die vielfältigen Untersuchungen der Columbite bestätigen zu können, die ich über die Zusammensetzung derselben angestellt habe, und auf welche ich später zurückkommen werde. Durch die Analyse einer grofsen Menge von Columbiten

von Bodenmais und von Nordamerika war es mir nicht geglückt, eine wahrscheinliche Formel für die Zusammensetzung derselben aufzustellen; gerade wie die Tantalite aus Finnland enthalten auch sie einen Ueberschufs an der metallischen Säure. Endlich erhielt ich durch die HH. Forchhammer in Kopenhagen und Krantz in Bonn Columbite aus Grönland, die durch ihr äufseres Ansehen auf eine grofse Reinheit und auf eine durch äufsere Einflüsse noch nicht veränderte Beschaffenheit schliefsen liefsen. Sie zeigten auch eine andere Zusammensetzung; die metallische Säure war mit einer solchen Menge von Base verbunden, wie ich sie in anderen neutralen Salzen dieser Säure gefunden hatte. Später wurden auch noch ausgezeichnete Krystalle des Columbits von Bodenmais untersucht, die von einer ähnlichen Reinheit und unverletzter Zusammensetzung waren wie die Krystalle aus Grönland.

Die Tantalite von Finnland haben vollkommen das Ansehen wie die gewöhnlichen Columbite von Bodenmais und von Nordamerika. Was von letzteren, die offenbar ihre ursprüngliche Beschaffenheit nicht mehr behalten haben, gilt, mufs auch bei jenen angenommen werden.

Ich kann daher wohl mit ziemlicher Gewifsheit annehmen, dafs die ursprüngliche Zusammensetzung der Tantalite von Tammela eine ähnliche sey, wie ich sie in den künstlich dargestellten neutralen Salzen der Tantalsäure gefunden habe; der Sauerstoff der Säure ist ein vierfaches von dem der Basen. Die Zusammensetzung kann daher durch $\dot{Fe} + 2\ddot{Ta}$ ausgedrückt werden.

Der Tantalit von Tammela kommt dieser Zusammensetzung näher, als der von Kimito. In ihm ist der Sauerstoff der Tantalsäure und des Zinnoxyds 4,7 mal so grofs als der der Basen. Nehmen wir an, dafs er in seiner ursprünglichen reinen Beschaffenheit aus neutralem tantalsaurem Eisenoxydul bestände, so wäre er im Hundert zusammengesetzt aus

Tantalsäure	82,48
Eisenoxydul	17,52
	100,00.

In den zinnhaltigen Tantaliten von Kimito ist ein bedeutender Theil des tantalsauren Eisenoxyduls durch tantalsaures und durch zinnsaures Manganoxydul ersetzt. In den untersuchten Tantaliten von Kimito ist die Zersetzung weiter fortgeschritten als in denen von Tammela; denn der Sauerstoff der Säuren ist 5,2 und 5,14mal so grofs als der der Basen. Wahrscheinlich ist die Einmengung der bedeutenden Mengen der zinnsauren Basen die Ursach der weiter fortgeschrittenen Zersetzung dieser Tantalite.

II. Tantalite aus Frankreich.

Die Tantalite von Broddbo bei Fahlun in Schweden, welche Berzelius untersucht hat, sind bei weitem nicht so rein wie die aus Finnland. Sie enthalten ferner nicht reine Tantalsäure, weshalb ich mir vorbehalte, künftig über die damit vorgenommenen Untersuchungen zu sprechen.

Dahingegen hat Hr. Damour den Tantalit in Frankreich entdeckt, und diese Entdeckung ist um so interessanter, da in der Nähe des Fundorts Chanteloube bei Limoges auch Columbit vorkommt, den Hr. Damour ebenfalls untersucht hat.

Der Tantalit zu Chanteloube kommt nicht krystallisirt vor, und ähnelt sehr dem Tantalit von Tammela; nur findet er sich in ungleich kleineren Stücken als derselbe. Er enthält wie dieser nur sehr kleine Mengen von Zinnoxyd. Nach Damour hat er ein specifisches Gewicht von 7,64 bis 7,651 und folgende Zusammensetzung:

		Sauerstoff.
Tantalsäure	82,98	15,65
Zinnoxyd	1,21	0,26
Eisenoxydul	14,62	3,24
Manganoxydul	Spuren	
Kieselsäure	0,42	
	99,23.	

Der Sauerstoff der Tantal- und Zinnsäure ist 4,9mal gröfser als der des Eisenoxyduls. Wenn wir für die Zusammensetzung des ursprünglichen, reinen Tantalits annehmen, dafs er in der Säure viermal so viel Sauerstoff als in den Basen enthält, so ist dieser Tantalit aus Frankreich in der Zersetzung nicht so fortgeschritten wie der von Kimito, sondern nur ungefähr so wie der von Tammela.

Der Tantalit von Chanteloube ist darauf von Jenzsch analysirt worden [1]). Er untersuchte zwei Stücke desselben von sehr verschiedenem Ansehen und verschiedener Dichtigkeit. Das eine war derb, auf dem Bruch von frischem Ansehen, und hatte das specifische Gewicht 7,703, das andere war zerklüftet, war auf den zarten Kluftflächen mit einem bläulich-weifsen Reife überhaucht, und hatte die Dichtigkeit von 7,027 bis 7,042. Bei der Untersuchung wurde die erhaltene Tantalsäure mit einem Gemenge von Schwefel und von kohlensaurem Natron geschmolzen, um mit Sicherheit alles Zinnoxyd auszuziehen. Die Resultate der Untersuchungen waren.

	I.	Sauerstoff	II.	Sauerstoff
Tantalsäure	83,55	15,76	78,98	14,90
Zirkonerde	1,54	0,41	5,72	1,51
Zinnoxyd	1,02	0,22	2,36	0,50
Eisenoxydul	14,48	3,21	13,62	3,02
Manganoxydul	Spuren		Spuren	
	100,59		100,68	

I ist die Analyse des mehr frischen, II die des zerklüfteten Stücks von geringerer Dichtigkeit.

Was die Zirkonerde betrifft, so wäre wohl zu wünschen, dafs ihre Gegenwart im französischen Tantalit noch von anderen Seiten bestätigt würde. Wenn wir ihre Gegenwart in dem französischen Tantalit aber als erwiesen annehmen, so sind die Resultate der angeführten Analysen für die Zusammensetzung des reinen ursprünglichen Tantalits von Interesse. Die Zirkonerde hat, wie dieſs auch aus

1) Pogg. Ann. Bd. 97, S. 104.

neueren Untersuchungen von Deville hervorgeht [1]) sehr wahrscheinlich eine der Tantalsäure ganz analoge Zusammensetzung, das heifst 2 Atome Sauerstoff gegen einen des Radicals. Wie bei den Tantaliten von Finnland sehen wir auch bei denen in Frankreich die von ihnen am meisten in der Zersetzung fortgeschritten, die aufser den tantalsauren Basen noch Salze mit anderen Säuren enthalten, welche die Tantalsäure ersetzen können. In den beiden untersuchten Tantaliten aus Frankreich, dem minder und dem mehr zersetzten, verhält sich der Sauerstoff der Säuren zu dem der Basen wie 1 : 5 und wie 1 : 5,6. Je mehr also die Zersetzung fortschreitet, desto mehr vermindert sich die Menge der Basen. Es sind diefs Beweise für die wahrscheinliche Formel des reinen Tantalits, wie ich sie oben aufgestellt habe.

Der Tantalit von Chanteloube ist später noch in meinem Laboratorium von Hrn. Chandler untersucht worden. Die Stücke, welche er zur Analyse anwandte, hatten ein specifisches Gewicht von 7,533. Das Resultat der Untersuchung war folgendes:

		Sauerstoff
Tantalsäure	79,89	15,07
Zirkonerde	1,32	0,35
Zinnoxyd	1,51	0,32
Eisenoxydul	14,14	3,14
Manganoxydul	1,82	0,40
Kalkerde	Spur	
Kupferoxyd	Spur	
	98,67.	

Von allen untersuchten Tantaliten kommt dieser der des reinen am nächsten, denn das Sauerstoffverhältnifs der Basen zu dem der Säuren ist wie 1 : 4,43.

Hr. Chandler hat sich bei der Untersuchung sehr viele Mühe gegeben, um die kleine Menge des Körpers, welchen er neben der Tantalsäure und dem Zinnoxyd erhalten hatte, für Zirkonerde zu erkennen. Die Analyse

1) Ann. der Chem. und Pharm. Bd. 105, S. 217.

wurde auf die Weise angestellt, wie ich es oben beschrieben habe. Nachdem der Tantalit mit saurem schwefelsaurem Kali geschmolzen worden war, fand sich die Zirkonerde in der sauren Flüssigkeit, die von unreiner Tantalsäure abfiltrirt worden. Eine zweite Menge wurde auf dieselbe Weise erhalten, als die Tantalsäure zum zweiten Male mit saurem schwefelsaurem Kali geschmolzen wurde, um sie von einer kleinen Menge von Natron zu trennen, nachdem sie vorher mit einer Mengung von Schwefel und von kohlensaurem Natron behandelt worden war. Eine dritte Menge von Zirkonerde wurde aus dem geglühten Eisenoxyd bei der Lösung desselben in Chlorwasserstoffsäure abgeschieden.

Es ist hierbei zu bemerken, dafs wie aus meinen früheren Abhandlungen hervorgeht, die Tantalsäure nicht ganz so vollkommen durch Schwefelsäure und durch schwefelsaures Kali abgeschieden wird, wie die Säuren des Niobs, und dafs daher leicht in der Zirkonerde etwas Tantalsäure enthalten seyn konnte. Als Hr. Chandler indessen die erhaltene Zirkonerde mit concentrirter Schwefelsäure erhitzte, erhielt er nach Zusetzen von Wasser eine zwar etwas trübe Lösung, die aber klar wurde, als sie abgedampft und von Neuem mit kaltem Wasser behandelt wurde. Sie wurde aber unklar, als schwefelsaures Kali hinzugefügt wurde; der Niederschlag wurde aber theilweise in Chlorwasserstoffsäure gelöst. Der mit Kalihydrat gefällte Niederschlag war ferner ganz unlöslich in einem Ueberschufs des Fällungsmittels. Es sind diefs keine Eigenschaften der Tantalsäure, wohl aber der Zirkonerde. Hr. Chandler legt noch darauf Gewicht, dafs die chlorwasserstoffsaure Lösung der Substanz das Curcumapapier bräunte, was freilich eine Eigenschaft der Zirkonerde, aber auch eine der Tantalsäure ist.

Das specifische Gewicht der Tantalsäure aus dem französischen Tantalite fand Chandler 7,456.

IV. *Etwas über das Verhalten des Lithion in der Silicatanalyse bei gleichzeitiger Gegenwart von Kali; vom Bergrath Dr. Jenzsch.*

Das Lithion ist in der Natur weit mehr verbreitet, als man früher gewöhnlich annahm. Aufser in den charakteristischen Lithion-Mineralien (Amblygonit, Triphylin, Tetraphylin, Spodumen, Petalit, Kastor, Lithionturmalin, Lepidolith, Lithionglimmer, Rodizit und einigen Skapolith) ist es auch in einigen Feldspäthen und in einem dem Feldspathe verwandten Minerale dem Weifsigit [1]) nachgewiesen. Der Lithiongehalt im Mineralwasser von Aachen, Bilin, Carlsbad, Dölau bei Halle, Dürkheim in Bayern, in den Elöpataker Mineralquellen unweit Kronstadt in Siebenbürgen, in dem Mineralwasser von Elster in Sachsen, Ems, Franzensbad, Geroldingen in Oberfranken, Hall, Hofgeismar, Hohenstein, Kissingen, Klausen in Steiermark, Krankenheil bei Tölz in Oberbayern, Kronstadt am Taunus, Lavey bei Bex, Luhatschowitz in Mähren, Marienbad, Mönchshofen, Niederbrunn im Dep. du Bas-Rhin, Niederlangenau in der Grafschaft Glatz, Orezza in Corsika, Petersthal in Baden, Pyrmont, *Sail-le-château-morand* im Dep. der Loire, Salzungen, (Schlangenbad in Nassau?), in der Slaniker St. Paulsquelle in der Moldau, und in den Mineralwässern von Soultzmatt (Dep. *du Haut-Rhin*), Stintsch in Ungarn, vom Stachelberg im Canton Glarus, von Sulsach im Elsafs, Szliacs in Ungarn, Vichy, Wailbach in Nassau, Weifsenberg im Canton Bern und Wiesbaden beweist hinreichend, dafs das Lithion sehr verbreitet ist. Möglicherweise wird

1) In von v. Leonhard N. Jahrbuch 1855 S. 800 sq. wies ich nach, dafs die bis jetzt in den Hohlräumen des Amygdalophyrs von Weifsig gefundenen Krystalle des Weifsigit nicht als ächte Krystalle, sondern als Pseudomorphosen nach Laumonit und wahrscheinlich auch nach anderen der Zeolith-Familie angehörenden Mineralien zu betrachten sind.
D. Verf.

man später das Lithion noch in manchem Minerale auffinden, wo man es jetzt nicht vermuthet und in dem es bisher der chemischen Analyse entgangen ist.

Vorliegende Abhandlung trägt leider nichts bei zur Beseitigung der grofsen Schwierigkeiten, welche die quantitative Bestimmung des Lithion darbietet; sie macht vielmehr nur auf eine neue Schwierigkeit aufmerksam, die sich bei der Analyse von Substanzen, in denen Lithion und Kali gleichzeitig vorhanden sind, bemerkbar macht.

Bei meiner ersten, leider mit äufserst wenig Material ausgeführten, Analyse des Weifsigits [1]) erhielt ich bei der Alkalienbestimmung einen eigenthümlich gefärbten Niederschlag von Kaliumplatinchlorid. Damals konnte ich mir diese eigenthümliche Färbung nicht erklären und schob sie auf einem kleinen Iridiumgehalt der angewendeten Platinsolution.

Im darauf folgenden Winter setzte ich meine Untersuchungen des Weifsigits fort und analysirte die beiden von mir beschriebenen Varietäten dieser Mineralsubstanz [2]).

Es stand mir zu diesen Untersuchungen etwas mehr Material zu Gebote, als zu der oben erwähnten Analyse verwendet werden konnte. Anfänglich wollte ich die Alkalien auf bekannte Weise zu trennen versuchen, d. h. das Kali als Kaliumplatinchlorid bestimmen, in der Voraussetzung, das Kaliumplatinchlorid werde sich von dem Natrium- und Lithiumplatinchlorid durch Behandlung mit Alkohol trennen lassen. Der Niederschlag hatte wiederum bei dieser Untersuchung nicht die für das Kaliumplatinchlorid charakteristische citronengelbe Farbe, sondern war schön orangegelb.

Die Untersuchung dieses vermeintlichen Kaliumplatinchlorid-Niederschlages ergab, dafs derselbe lithiumhaltig sey.

Ich untersuchte nun das alkoholische Filtrat, welches sich kaliumhaltig erwies. Um den Kaliumgehalt nachzuwei-

1) *Bulletin de la société géologique de France*, 2. *ser.*, *t. XI*, *p.* 493. von Leonhard N. Jahrb. d. M. 1854, S. 405.

2) v. Leonhard N. Jahrbuch 1855 S. 789 sq. *Bulletin de la société géologique de France* 1855, *p.* 222 *sq.*

sen, wurden die vorhandenen Platinsalze zerstört und die Chlormetalle mit Wasser ausgezogen. Nachdem unter bekannten Vorsichtsmafsregeln Platinsolution zugesetzt worden war, erhielt ich einen gelben krystallinischen Niederschlag. Ich überzeugte mich mehrfach von der Richtigkeit dieser Beobachtung.

Bei Anwendung eines angeblich chemisch reinen Chorlithiums erhielt ich, nachdem die concentrirte wässerige Lösung mit Platinsolution im Ueberschnfs behandelt, im Wasserbade zur Trockne abgedampft und nach dem Erkalten mit Alkohol übergossen worden war, einen geringen krystallinischen Niederschlag [1]), dessen Entstehung ich einer Verunreinigung des Chlorlithiums durch etwas Chlorkalium zuschreiben möchte. Die von diesem Niederschlage abfiltrirte alkoholische Solution wurde zu einer concentrirten Chlorkaliumlösung gesetzt. Es entstand sogleich ein schmuzzig orangegelber Niederschlag von mehliger Beschaffenheit, welcher sich bei Zusatz von Platinchlorid noch vermehrte. Die Analyse ergab, dafs in diesem Niederschlage Chlorlithium und Chlorkalium *gleichzeitig* vorhanden war; in dem durch das überschüssig zugefügte Platinchlorid gelbgefärbten Filtrate wurde aber ein nicht ganz unbedeutender Kaliumgehalt nachgewiesen.

Um das Lithion in Mineralsubstanzen quantitativ zu bestimmen, sollten dieselben auch verhältnifsmäfsig nur wenig [2]) Lithion enthalten, verfahre ich auf folgende Weise:

1) »Platinchloridauflösung bringt in den spirituösen Auflösungen der Lithionsalze eine so höchst unbedeutende Trübung hervor, dafs sie kaum bemerkt werden kann. Ist die Auflösung nur etwas verdünnt, so ist gar keine Trübung sichtbar«. H. Rose, Handb. d. Ch. 1852 Bd. I, S. 18.

2) Hierher gehören die meisten Silicate, deren Lithiongehalt in der Regel ziemlich gering ist. Man vergleiche meine Arbeit über den Phonolith (Poggendorff's Annalen 1856 Bd. XCIX, S. 417 sq), ferner Beiträge zur Kenntnifs einiger Phonolithe des Böhmischen Mittelgebirges (Berlin 1856 und deutsche geologische Zeitschrift 1856 Heft 2), sowie meine Untersuchung des lithionhaltigen Feldspathes von Radeberg (Pogg. Ann. 1855 Bd. XIV, S. 304 sq). Hierbei mache ich zugleich aufmerksam, dafs in vielen wissenschaftlichen Zeitschriften, in welche die Ana-

Die gelösten Chlormetalle werden in ein kleines vor der Lampe geblasenes Fläschchen mit gut eingeriebenem Glasstöpsel gebracht, darin zur Trockne eingedampft und darauf mit Aether-Alkohol[1]) behandelt. Man schüttelt öfters gut um und läfst diese Behandlung so lange (mehrere Tage) fortdauern, bis die in dem Fläschchen befindlichen Chlormetalle vollständig zerfallen sind, da aufserdem gewöhnlich geringe Mengen Chlorlithium ungelöst bleiben. Man filtrirt sehr schnell, bedeckt dabei den Trichter mit einem Uhrglase und setzt das Auswaschen mit Aether-Alkohol so lange fort, als noch beim Anbrennen einiger Tropfen desselben eine carminrothe Färbung sich zeigt. Zu weit darf man jedoch das Auswaschen nicht treiben, da aufserdem leicht eine geringe Menge der beiden andern Alkalien in Lösung gehen könnte und dadurch ein bei weitem zu hoher Lithiongehalt gefunden werden würde.

Chlorkalium und Chlornatrium, welche ungelöst bleiben, werden gewogen und ihre Trennung durch Platinchlorid nach bekannter Methode ausgeführt. Man hüte sich die

lyse dieses Feldspathes überging, die daselbst gedruckten Zahlenwerthe der Kieselsäure und der Thonerde zu berichtigen sind

In dem lithionhaltigen Feldspathe von Radeberg fand ich nämlich:

Kieselsäure		65.24	mit	33,87	Sauerstoff
Thonerde		20,40	»	9,53	»
Magnesia		0,84	»	0,34	»
Kali		12,35	»	2,10	»
Natron		0,27	»	0,07	»
Lithion		0,71	»	0,39	»
Fluor, Borsäure	Glühverlust	0,52			
		100,33.			

1) Die Anwendung von Aetheralkohol zur Trennung der Chlorüre von Natrium und Lithium schlug Hr. Rammelsberg zuerst vor in Pogg. Ann. Bd. 66, S. 86, wo er zeigte, dafs das phosphorsaure Natron-Lithion ($\dot{L}$, $\dot{N}a$) wegen des schwankenden Verhältnisses beider Basen sich zur Bestimmung des Lithions nicht eigene. (Pogg. Annal. Bd. CII, S. 441.) Hr. W. Mayer (Ann. der Chemie und Pharmacie Bd. 98, S. 193 sq) bestimmt das Lithion als unlösliches phosphorsaures Lithion ($\dot{L}^3\ddot{P}$).

gesammten Chlormetalle vor der erfolgten Abscheidung des Chlorlithiums zu wiegen, dieſs würde eine neue Fehlerquelle für die Alkalienbestimmung seyn.

Es ist bekannt, daſs Lithion und kohlensaures Lithion die Platingefäſse, worin sie geglüht werden, sehr angreifen. Um mich von der Art und Weise, wie dieſs geschah, zu überzeugen, schmolz ich in einem neuen Platintiegel käufliches kohlensaures Lithion. Seitenwände und Deckel des Platintiegels überzogen sich mit einem grünlich grauen, ins Gelbgrüne sich neigenden Ueberzuge, der untere Theil des Tiegels, welcher in unmittelbarer Berührung mit dem geschmolzenen kohlensauren Lithion sich befand, war aber ganz unversehrt geblieben.

Wird eine geringe Menge Chlorlithium in einem ganz blanken (neuen) Platintiegel geschmolzen und der Rothglühhitze ausgesetzt, so bildet sich ebenfalls ein grünlich grauer Ueberzug, welcher sich namentlich am Deckel und an den Aufsenwänden des Tiegels zeigt. Nach dem Schmelzen bemerkt man eine *Gewichtszunahme.*

Auch Silber wird nach Hrn. Kralovansky von schmelzendem kohlensauren Lithion angegriffen und gelöst.

Um zu erfahren, auf welche Weise das Silber durch Chlorlithium angegriffen werde, brachte ich eine concentrirte Chlorlithiumlösung in einen Silbertiegel und dampfte sie bei mäfsiger Hitze ein. Nachdem alle Feuchtigkeit entfernt war, wog ich den Tiegel und setzte hierauf denselben der Rothglühhitze aus. Nach dem Erkalten des Tiegels wurde er auf die Wage gebracht und eine nicht ganz unbedeutende Gewichtszunahme wahrgenommen. Beim Oeffnen desselben war die ursprünglich weifs erscheinende Masse und die inneren Tiegelwände bläulich grau gefärbt. Es hatte sich Chlorsilber gebildet. Auf ganz ähnliche Weise dürfte es sich mit dem Platin verhalten. Das sehr flüchtige Chlorlithium giebt ohne Zweifel einen Theil seines Chlors an das Platin ab und nimmt Sauerstoff [1]) dafür auf. Es

1) So könnte es vielleicht gelingen, Lithion (L) darzustellen, vorausgesetzt, daſs man in einer vollständig Wasser- und Kohlensäure freien Atmosphäre operirte.

erklärt sich so die jedesmalige Gewichtszunahme und die Bildung der erwähnten schmutzig gelb-grünen Substanz, höchstwahrscheinlich Platinchlorür, welches bekanntlich ein in Wasser unlösliches grünlich-graues Pulver ist und sich, gleich einem fetten Körper, kaum mit Wasser benetzen läfst.

Auf dieselbe Weise erklärt sich nun auch die Erscheinung, welche ich beim Schmelzen und Glühen des käuflichen kohlensauren Lithions beobachtete und die ich nur einer Verunreinigung des angewendeten kohlensauren Salzes durch Chlorlithium, welches sich darin nachweisen liefs, zuschreiben möchte. Noch mehr wurde ich aber in meiner Ansicht dadurch bestärkt, als ich einen deutlichen Chlorgehalt in dem grau-grünen Ueberzuge des Tiegeldeckels auffand. Ich schmolz denselben, nachdem er zuvor Tage lang mit Wasser ausgekocht war, mit kohlensaurem Natron. Dadurch wurde der grau-grüne Ueberzug zerlegt, indem das Chlor desselben sich mit einem Theile des kohlensauren Natrons zu Chlornatrium verband, das Platin aber als schwarzes Pulver zurückblieb, welches sich in Königswasser zu einer gelben Solution auflöste. Dieses schwarze Pulver war vielleicht Platinoxyd. Platin oxydirt sich bekanntlich beim Glühen mit Kalihydrat, Lithionhydrat oder kohlensauren Lithion beim Zutritt der Luft zu Platinoxyd.

Um den geringen Chlorgehalt nachzuweisen, wurde zu der vom schwarzen Pulver abfiltrirten alkalischen Flüssigkeit Salpetersäure [1]) gesetzt. Salpetersaures Silberoxyd brachte die für Chlorsilber so charakteristische Trübung hervor. Interessant wäre es, Glühversuche anzustellen mit völlig reinem kohlensauren Lithion, was mir aber leider nicht zu Gebote stand.

Was für eine Verbindung das Lithium, welches sein Chlor an das Platin resp. Silber abgegeben hat, selbst eingeht, läfst sich nicht mit Bestimmtheit angeben. Möglicherweise verbindet es sich zunächst nur mit Sauerstoff, verwandelt sich aber wohl sehr bald in Lithionhydrat. Ich

1) Die angewendete Salpetersäure und das kohlensaure Natron war vollkommen chlorfrei.

beobachtete es als eine weifse Substanz, welche mit Wasser keine Auflösung, sondern nur eine Emulsion bildete, aber mit Salzsäure betropft, sich löste, wobei kein Aufbrausen bemerkt wurde. An Stellen, wo die geschmolzene Masse sich zwischen Tiegel und Deckel durchgezogen und die äufsere Tiegelwand graugrün überzogen hatte, verursachte Salzsäure ein schnell vorübergehendes Aufbrausen. Durch den Zutritt der Luft hatte sich kohlensaures Lithion gebildet.

Das Lithionhydrat schmilzt bekanntlich schon bei schwacher Glühhitze und löst sich in Wasser nur in geringer Menge auf. Nach Hrn. C. Gmelin wird das durchsichtige Lithionhydrat an der Luft durch Aufnahme von Kohlensäure undurchsichtig (Gmelin, Handbuch der Chemie, 5. Aufl., Bd. II, S. 119).

Um auf den oben erwähnten Niederschlag durch Platinsolution zurückzukommen, so dürfte derselbe in manchen Fällen zur Erkennung der Lithionsalze in der qualitativen Analyse sehr geeignet seyn, da man sich durch ihn auf nassem Wege gleichzeitig von der Gegenwart des Kali und Lithions überzeugen kann. Seine Farbe ist sehr charakteristisch. Man erhielt ihn, wenn Platinchlorid zu einer Auflösung von Chlorkalium und Chlorlithium gefügt, die Flüssigkeit im Wasserbade eingedampft und nach dem Erkalten das Ganze mit Alkohol behandelt wurde. Den entstandenen Niederschlag könnte man auf den ersten Anblick für ein Doppelsalz von Kalium-Lithium-Platinchlorid ansehen. Jedoch das Mikroskop zeigt, dafs man es zu thun habe, nicht mit *einer* chemischen Verbindung, sondern nur mit einem *Gemenge zweier Substanzen*, von denen die eine unzweifelhaft citronengelbes Kaliumplatinchlorid ist, unter dem Mikroskope sich einfach lichtbrechend zeigt und von reinem Kaliumplatinchlorid [1]) sich nicht unterscheiden läfst. Die andere Substanz ist dunkel orangegelb, die Krystalle, welche dem tesseralen Systeme angehören, sind ebenfalls einfach

1) Es wurde der Vergleichung wegen gleichzeitig und mit denselben Reagentien auch das bekannte citronengelbe Kaliumplatinchlorid dargestellt.

lichtbrechend und gröfser als die den citronengelben Theil des Niederschlages zusammensetzenden. Bei durchfallendem Lichte erscheinen sie stets hell, wogegen die Kaliumplatinchloridkrystalle oft trübe aussehen. Das Quantitätsverhältnifs beider Gemengtheile scheint von mancherlei Bedingungen abzuhängen, jedoch ist der Gehalt an Chlorlithium selbst in solchen Niederschlägen, wo der dunkel orangegelbe Theil desselben in grofser Menge vorhanden ist, verhältnifsmäfsig immer nur gering.

Um zu sehen, welche von beiden Verbindungen sich zuerst bilde, wurde eine concentrirte Chlorkalium und Chlorlithiumlösung in einem Uhrglase mit Platinchlorid versetzt, im Wasserbade zur Trockne eingedampft und nach dem Erkalten mit Alkohol übergossen. Es befand sich der citronengelbe Theil des Niederschlages (Kaliumplatinchlorid) auf dem Boden des Uhrglases, die dunkel orangegelbe Verbindung aber *an der Oberfläche.* Es scheint sich also in einer Chlorkalium und Chlorlithium enthaltenden Flüssigkeit beim Zusatze von Platinchlorid zuerst Kaliumplatinchlorid abzusetzen und dann erst das orangegelbe Salz zu bilden.

Wurde der gesammte durch Platinsolution erzeugte Niederschlag in ein an seinem unteren Ende zu einem engen Cylinder ausgezogenes Probirröhrchen gebracht und mit Alkohol geschüttelt, so senkte sich der orangegelbe Theil zuerst zu Boden, das citronengelbe Kaliumplatinchlorid aber bildete die oberste Lage.

Enthält Chlorlithium nur einen geringen Chlorkaliumgehalt, wie es gewöhnlich im käuflichen Chlorlithium der Fall ist, so entsteht ein gelber Niederschlag, welcher nur äufserst schwach ins Orangegelbe fällt und von reinem Platinchlorid schwierig zu unterscheiden ist. Unter dem Mikroskope läfst sich aber eine geringe Beimengung der orangegelben Platinverbindung erkennen.

Die Kaliumplatinchloridkrystalle selbst sind Hexaëder, an denen nicht selten *eine* Ecke abgestumpft ist. Diese einzelne Octaëderfläche ist dann gewöhnlich grofs ausgebildet.

Könnte man mit gröfseren Quantitäten von Lithion ar-

beiten, als es mir möglich war, so würde sich durch einen mechanischen Aufbereitungsprocefs die Trennung der beiden den Niederschlag constituirenden Platinsalze bewirken lassen.

So lange eine Analyse des *gesonderten* orangegelben Lithiumsalzes noch nicht vorgenommen worden ist, läfst sich freilich nichts über seine Zusammensetzung feststellen; nicht unwahrscheinlich erscheint mir es aber, dafs die orangegelben Krystalle ein in überschüssiger alkoholischer Platinsolution zum Theil auflösliches Doppelsalz von Kalium- und Lithiumplatinchlorid seyn möchten. Eine solche Annahme liefse sich in Verbindung bringen mit dem auffallenden Umstande, dafs in der vom Niederschlage abfiltrirten alkoholischen Solution ein nicht unbedeutender Chlorkaliumgehalt nachgewiesen werden kann, wenn man zur Trockne eindampft, die Platinsalze reducirt, die Chloralkalien mit Wasser extrahirt und wiederum mit Platinsolution behandelt. Auch der oben erwähnte verhältnifsmäfsig geringe Chlorlithiumgehalt in dem dunkel orangegelben Platinsalze spricht für das gleichzeitige Vorhandenseyn von Lithium und Kalium.

Das fragliche Chlorkalium-Lithium-Platinchlorid ist wahrscheinlich isomorph mit dem Kaliumplatinchlorid, welches letztere aus seiner wässerigen Auflösung bekanntlich in deutlichen Octaëdern krystallisirt.

Ein durch Zusatz von überschüssiger Platinsolution zu gleichen Aequivalenten Chlorkalium und Chlorlithium gebildeter und mit Alkohol ausgewaschener schön orangegelber Niederschlag wurde mehrere Wochen in einer Papierkapsel aufbewahrt; er hatte seine ursprüngliche Farbe in eine ockergelbe verwandelt. Das Mikroskop zeigte die dem gelben Kaliumplatinchlorid-Niederschlage beigemengten orangegelben Krystalle unverändert. Ein gleichzeitig mit diesem Niederschlage dargestellter und ebenfalls in einer Papierkapsel aufbewahrter Kaliumplatinchlorid-Niederschlag war unverändert geblieben.

Bei der Zersetzung [1]) eines kalium- und lithiumhaltigen

1) Um dieselbe zu unterstützen, wurden einige Krystalle reiner Oxalsäure in den Platintiegel gebracht.

orangegelben Niederschlages durch die Hitze, konnte ich die Bildung von graugrünem Platinchlorid nicht bemerken. Das reducirte Platin verwandelte sich zum Theil in glänzende Blättchen, welche sich unter dem Mikroskope sogar schon durch eine stark vergröfsernde Lupe als schöne und scharfkantige Platinkrystalle erkennen liefsen. Es waren sehr deutliche Octaëderzwillinge, wie solche vom Spinell, Magneteisenerz, Kupfer, Gold u. s. w. bekannt sind.

Bei der Zersetzung des alkoholischen Filtrats, welches viel Chlorlithium enthielt, überzog sich der Tiegel[1]) mit einem graugrünen Ueberzuge, gleichzeitig bildete sich aber Lithionhydrat und an den der atmosphärischen Luft ausgesetzten Stellen des Tiegels kohlensaures Lithion.

Von besonderer Schwierigkeit ist bei der Silicatanalyse die Trennung der Magnesia von den Alkalien. Am einfachsten und sichersten geschieht diefs wohl durch Extraction der kohlensauren Alkalien[2]) mittelst kochenden Wassers.

Man mufs hier mit grofser Vorsicht verfahren, besonders auch sehr schnell filtriren, auch nicht zu wenig Wasser anwenden, da bekanntlich das kohlensaure Lithion schwer löslich, die kohlensaure Magnesia aber in *nicht* kochendem Wasser etwas löslich ist. Je lithionhaltiger die zu analysi-

1) Es war ein sehr grofser flacher Platintiegel eine sogenannte Platinkapsel angewendet worden.

2) Hat man nach der Methode des Hrn. H. Sainte-Claire-Deville durch Behandlung mit salpetersaurem Ammoniak in Lösung geführt: Kalk, Magnesia, Kali, Natron, Lithion und etwas Manganoxydul, so fällt man zunächst den Kalk mittelst oxalsauren Ammoniaks. Der oxalsaure Kalk wird aber durch Glühen über der Deville'schen Lampe in kaustischen Kalk verwandelt und als solcher gewogen. Man dampft das Magnesia, Manganoxydul und die Alkalien enthaltende Filtrat ein und erwärmt vorsichtig, um das vorhandene salpetersaure Ammoniak fortzuschaffen. Dann fügt man zu den feuerbeständigen salpetersauren Alkalien etwas Wasser und einige Krystalle von reiner Oxalsäure. — Die Salpetersäure wird beim Abdampfen ausgetrieben, es verwandeln sich die gebildeten oxalsauren Salze aber durch schwaches Glühen in kohlensaure. Man zieht daraus die kohlensauren Alkalien mittelst kochenden Wassers aus, in welchem die kohlensaure Magnesia fast unlöslich, das kohlensaure Manganoxydul vollkommen unlöslich ist.

rende Substanz ist, um so vorsichtiger muſs man verfahren, da aufserdem die Genauigkeit der Lithion- und der Magnesiabestimmung leiden würde.

Gesetzt die die Alkalien enthaltende Flüssigkeit sey magnesiahaltig, und man habe Salzsäure zugesetzt, um Alles in Chlormetalle zu verwandeln, sodann das Ganze, *ohne es vorher zu wiegen*, in das kleine vor der Lampe geblasene Fläschchen gebracht und darin eingedampft, auch so lange vorsichtig erwärmt, bis die Salzsäure vertrieben sey, so würde sich in Aetheralkohol etwas Chlormagnesium auflösen, wodurch sich nothwendig ein zu grofser Lithiongehalt herausstellen würde.

Hätte man wie es gewöhnlich geschieht die Chlormetalle insgesammt gewogen, so würde man, wenn der Lithiumgehalt der zu analysirenden Substanzen nicht zu gering ist, noch auf die oben beschriebenen Schwierigkeiten stofsen. Löste man dann die geschmolzenen [1]) Alkalien, so müfste man nicht vernachlässigen einige Tropfen Salzsäure zuzufügen, um das gebildete Lithionhydrat (resp. kohlensaures Lithion) wieder in Chlorlithium zu verwandeln. Hätte man diefs vernachlässigt, so würde man im Glasfläschchen Chlorlithium und Lithionhydrat (resp. kohlensaures Lithion) Chlormagnesium, Chlorkalium und Chlornatrium haben. Dann würde man sich freilich sofort von der Gegenwart des Chlormagnesiums überzeugen können, da dasselbe die Eigenschaft besitzt, durch kohlensaure und durch kaustische Alkalien einen weifsen undurchsichtigen, schleimigen oder auch flockigen, langsam niederfallenden Niederschlag zu geben.

Nach beendigter Behandlung der Alkalien mit Aether-Alkohol wird das Chlorkalium und Chlornatrium im Platintiegel mit Quecksilberoxyd geglüht, um die in ihnen etwa noch enthaltene Menge Chlormagnesium in Magnesia zu verwandeln. Hierauf bestimmt man das Gewicht der von ihr befreiten Chlormetalle und bewirkt ihre Trennung durch Platinchlorid nach bekannter Methode. Das im Aetheral-

1) Bei einer genauen Analyse sind Porcellantiegel nicht anwendbar, da dieselben vom Chlorlithium sehr bedeutend angegriffen werden.

kohol gelöste Chlorlithium wird vorsichtig bei *gelinder* Hitze eingedampft und nachdem man den Tiegel in einem Schwefelsäuretrockenapparate hat erkalten lassen, gewogen; oder man kann das Chlorlithium in schwefelsaures Lithion verwandeln und als solches wägen.

V. *Fortgesetzte Beobachtungen über die elektrische Entladung durch gasverdünnte Räume;* von *Plücker*.

(Siehe Ann. Bd. CIII, S. 88 und 151).

Magnetisches Licht.

47. Das magnetische Verhalten desjenigen Lichtes, das von der negativen Elektrode aus nach allen Seiten hin sich verbreitet, ist ein so eigenthümliches, dafs ich hier zunächst noch einmal auf dasselbe zurückkomme. Am besten können wir uns dieses Verhalten veranschaulichen, wenn wir von der allbekannten Erscheinung ausgehen, dafs Eisenfeilspäne, auf ein steifes Papier gestreut, welches die Pole eines Magneten bedeckt, sich in Curven zusammenlegen, die man magnetische Curven, magnetische Kraftlinien, genannt hat. Solche Curven geben auch da noch eine Anschauung von der Vertheilung der Kraft eines Magneten, wo die Kräfte der Analyse nicht mehr zur Bestimmung derselben hinreichen. In jeder solchen Curve legen sich die einzelnen Eisentheilchen, die, unter der Einwirkung des Magneten, selbst zu kleinen Magneten geworden sind, eine Kette bildend, mit ihren befreundeten Polen an einander. Könnten wir die Eisentheilchen der Kraft der Schwere entziehen und durch den ganzen die Pole umgebenden Raum vertheilen, so würden solche Ketten, die Form magnetischer Curven annehmend, das ganze magnetische Feld durchziehen und ein sichtbares Bild von der Vertheilung der magnetischen Kraft geben. Die Glieder jeder Kette würden sich in dem Zustande eines

stabilen Gleichgewichtes befinden; jeder Theil derselben würde, durch eine äufsere Kraft aus der ursprünglichen Lage herausgebracht, sich selbst überlassen, wieder in diese Lage zurückkehren. Durch einen gegebenen Punkt geht immer nur eine einzige magnetische Curve; durch die Stelle, die irgend ein Glied der Kette im Raume einnimmt, ist die Form der ganzen Kette bestimmt, so dafs, wenn wir dieses eine Glied festhielten, dabei aber der Kette eine beliebige Form gäben, diese Kette, sich selbst überlassen, die ursprüngliche Form der magnetischen Curve wieder annehmen würde. Denken wir uns die Glieder einer solchen der Schwere entzogenen Kette auch dann noch an einander haftend, nachdem sie nach Aufhören der inducirenden Wirkung des Magneten ihren Magnetismus verloren haben und denken wir uns ferner von einem gegebenen Punkt des Raumes aus beliebig viele solcher Ketten von beliebiger Form nach allen Richtungen hin ausgehen, so werden sich, nach Erregung des Magneten, alle solche Ketten in dieselbe Curve zusammenziehen, in diejenige magnetische Curve nämlich, welche durch den gegebenen Punkt vollkommen bestimmt ist.

48. Die Voraussetzungen, welche dieser Erscheinung zu Grunde liegen, sind schwerlich zu realisiren und darum wird die Erscheinung selbst wohl nur eine blofse Fiction bleiben. Sie wird aber zur Wirklichkeit, wenn wir, an die Stelle der gegliederten eisernen Ketten, Strahlen magnetischen Lichtes nehmen.

49. Wenn wir die elektrische Entladung durch eine Geifsler'sche Röhre leiten, an deren Enden Kugeln angeschmolzen sind, bis zu deren Mittelpunkt die Elektroden hineinragen, so strahlt von jedem Punkte der negativen Elektrode solches magnetisches Licht aus, und verbreitet sich durch den ganzen innern Raum, der diese Elektrode umschliefsenden Kugel. Diese Ausstrahlung beschränkt sich auf den Endpunkt der negativen Elektrode, wenn der übrige Theil derselben durch umgeschmolzenes Glas isolirt ist. Die von diesem Punkte ausgehenden Strahlen ziehen sich

alle in eine einzige Lichtlinie zusammen, welche mit der durch das Ende der negativen Elektrode gehenden magnetischen Curve zusammenfällt und diese, in Folge jener Zusammenziehung des Lichtes, hell beleuchtet, dem Auge sichtbar macht.

Jeder Strahl, der sich nach dieser magnetischen Curve krümmt und einen Theil des Lichtbogens bildet, verhält sich hierbei also gerade so, als ob er aus Elementen bestände, die als kleine Magnete mit ihren befreundeten Polen an einander stiefsen; er verhält sich als ein magnetischer Faden, der vollkommen biegsam ist und demzufolge, wenn er in irgend einem Punkte (dem Endpunkte der negativen Elektrode) festgehalten wird, die Form der durch diesen Punkt gehenden magnetischen Curve annimmt; oder er verhält sich auch, was auf dasselbe hinauskommt, wie ein zu einer unendlich dünnen Spiralen gewundener elektrischer Strom.

50. Ich habe durch diese Erörterungen blofs die Natur des Phänomens vollkommen klar machen wollen, bin aber weit entfernt die Natur des magnetischen Lichtes selbst dadurch näher bezeichnen zu wollen [1]).

1) Ueber die Bildung der *Lichtflächen*, die, wenn die nicht mehr isolirte Elektrode von jedem Punkte ihrer ganzen Länge magnetisches Licht ausstrahlt, an die Stelle der magnetischen Lichtcurven treten, wüfste ich dem früher schon Bemerkten (38) nichts mehr hinzuzusetzen. Ich möchte nur noch bei dieser Gelegenheit einer weiteren, etwa 32^{cm} langen Röhre Erwähnung thun, in welche die eine Elektrode 10^{cm} hineinragte. Wenn diese Elektrode bei der elektrischen Durchströmung die negative wurde, so füllte sich die Röhre, so weit die Elektrode hineinreichte, mit magnetischem Lichte. Dieses zog sich, wenn die Röhre in aequatorialer Lage auf die einander genäherten Halbanker gelegt wurde, zu einer einzigen, gewölbeförmigen schönen Lichtfläche zusammen. Wurde die Röhre in axialer Richtung aufgelegt, so zog sich das magnetische Licht in die durch den Draht gehende Ebene und bildete in dieser Ebene von einem Halbanker zum andern einen prächtigen auf dem Glase der Röhre aufstehenden Bogen, der auf seiner innern Seite am hellsten und vollkommen scharf begränzt war und der, oberhalb der Mitte zwischen den beiden Halbankern, den Draht berührte. Dieser Bogen blieb unverrückt und ungeändert, wenn die Röhre ihrer Länge nach verschoben wurde, so lange bis der Endpunkt der Elektrode über

51. Welches sind aber die Verhältnisse, unter welchen magnetisches Licht entsteht, das bisher nur an der negativen Elektrode beobachtet wurde und hier von demjenigen Lichte scharf sich scheidet, welches den elektrischen Lichtstrom bildet und durch den Magneten die Ablenkung eines solchen Stromes, eine elektromagnetische Ablenkung, erleidet? Wodurch unterscheidet sich dieses zwiefache Licht, auf welches der Magnet so ganz verschieden einwirkt?

Von der negativen Platin-Elektrode reifsen sich in der Regel Platinpartikel los, die sich an die innere Wandung der die Elektrode umgebenden Glaskugel absetzen [1]). Eine Folge davon ist, dafs diese Kugel sich allmählich schwärzt, und nach längerer Wirkung, wenn sie nicht zu grofs ist, von Innen mit einem schönen Metallspiegel bekleidet wird. Durch die chemische Analyse können wir das Platin des Beleges nachweisen. Dafs es diese von der negativen Elektrode sich losreifsenden Platinpartikel sind, welche, indem sie glühen, das magnetische Licht ausmachen, ist offenbar diejenige Annahme, welche am nächsten liegt. Zu bemerken bleibt hierbei aber, dafs nicht in allen Fällen die Kugel sich schwärzt; und zwar selbst in solchen Fällen — ich führe beispielsweise Röhren, die Fluorborgas enthalten an — wo das magnetische Licht sehr schön und die Einwirkung des Magneten auf dasselbe sehr stark ist, wird auch nach längerer Zeit keine Ablagerung auf die Kugel bemerkbar. Diese Ablagerung hat überhaupt ein sehr verschiedenes Ansehen je nach der Art des Gases in der Röhre. Die Art dieses Gases hat ferner auch Einflufs auf die Erwärmung der negativen Elektrode, die, unter sonst gleichen Umständen, bald hell glüht, bald nicht glüht. Die Aussendung leuchtender Platinpartikel von der negativen Elektrode mufs namentlich in demjenigen Falle auffallend erscheinen, wo

die Mitte zwischen den Halbankern hinwegrückte; dann änderte sich die Erscheinung in einer Weise, die hier keiner weitern Beschreibung mehr bedarf.

1) Ich habe nie eine Tendenz dieser Theilchen sich nach der entgegengesetzten Elektrode hin zu bewegen bemerkt.

der Funken einer Elektrisirmaschine von sehr mäfsigen Dimensionen durch die Röhre entladen wird (42) und wo, unter gewöhnlichen Verhältnissen, eine Erwärmung der negativen Elektrode kaum nachweisbar seyn würde.

Die Erwärmung der negativen Elektrode theilt sich der sie umgebenden Kugel mit, wahrscheinlich gröfstentheils durch die von jener ausgesendeten Platinpartikel.

52. Es bedurfte wohl kaum noch eines besondern Versuches, um festzustellen, dafs, wenn eine frische Röhre in aequatorialer Lage so zwischen die beiden einander genäherten Halbanker gebracht wird, dafs die Kugel mit derjenigen Elektrode, die zur negativen bestimmt ist, von Aufsen her an dieselben anstöfst (ich wähle diese eine Lage) und dann erst der elektrische Strom durch die Röhre hindurchgeleitet wird, und das magnetische Licht in einer sichelförmigen Scheibe zusammengezogen erscheint — die Kugel nur an derjenigen Stelle geschwärzt wird, wo die Lichtscheibe ihre innere Wandung berührt.

53. Die Farbe des magnetischen Lichtes scheint von der Art des Gases in der Röhre abzuhängeu. In den meisten Fällen ist dasselbe violett, mehr oder weniger ins Rothe übergehend, oft von intensiv grünem Lichte begleitet (35), oft ist es schön blau, und unter sonst weniger vortheilhaften Umständen, habe ich auch eine intensiv gelbe magnetische Lichtfläche gesehen.

Bisher haben wir immer Platin-Elektroden vorausgesetzt. Bei den fraglichen Erscheinungen scheint indefs das Metall der Elektroden, an und für sich, von keinem Einflusse. Ich habe bereits das anscheinend ganz gleiche Verhalten von stark verkupferten, versilberten, vergoldeten Platin-Elektroden angeführt (37). Eine Nähnadel als negative Elektrode gab die gleiche Erscheinung, ebenso eine bleierne und zinnerne Elektrode. (Der im Glase eingeschmolzene Theil der Elektroden kann bekanntlich nur Platin seyn, und mit diesem wurden die zu untersuchenden Metalle passend verbunden.)

54. Nach diesen Versuchen sind wir, wie es scheint,

zu dem Schlusse berechtigt, dafs insbesondere auch die *diamagnetische* oder *paramagnetische Natur* der von den Elektroden abgerissenen Partikel bei dem magnetischen Lichte nicht in Betracht kommt. Wollten wir dagegen annehmen, dafs diese abgerissenen Partikel, die Elektricität der Elektrode beibehaltend, dadurch, dafs sie sich bewegten, elektrische Elementarströme erzeugten, und wollten wir überdiefs annehmen, dafs ihre Bewegung eine spiralförmige wäre, so hätten wir allerdings für die beobachteten Erscheinungen eine Art von Erklärung, aber bis jetzt ist eine solche Erklärung wenig gerechtfertigt.

55. Das magnetische Licht giebt, auch unter der magnetischen Erregung, keine Spur von *Polarisation*.

56. Bei der Ungewifsheit, in der wir uns in Beziehung auf das magnetische Licht befinden und bei dem vollständigen Mangel an analogen Erscheinungen, machte ich noch mehrfache Versuche, unter andern Verhältnissen magnetisches Licht aufzufinden. Doch alle solche Versuche blieben ohne Erfolg und einen derselben zu erwähnen, mag hier hinreichen.

Ich richtete meine Aufmerksamkeit insbesondere auf das merkwürdige fluorescirende Licht, dessen nähere Kenntnifs wir Hrn. Stokes verdanken. Um es hervorzurufen, bediente ich mich einer engen Geifsler'schen Röhre, die beim Hindurchgehen des Stromes, intensiv blaues Licht gab und befestigte dieselbe in der Mitte einer weitern Röhre, die Wasser mit aufgelösten Aesculin enthielt. Nach Erregung des Stromes bildete das fluorescirende Licht im Wasser eine cylindrische Lichthülle von der bekannten hellblauen Farbe, welche die engere Röhre umgab. Als diese Vorrichtung in aequatorialer Lage auf den beiden einander genäherten Halbanker gelegt wurde, zeigte sich, nach Erregung des Elektromagneten, keinerlei Einwirkung auf die cylindrische Hülle fluorescirenden Lichtes.

Einstweilen tritt also das magnetische Licht nur unter sehr beschränkten Umständen auf und elektrische Verhältnisse scheinen zu seiner Entstehung erforderlich zu seyn.

Elektromagnetische Einwirkung auf den elektrischen Lichtstrom.

57. Durch die früher von mir mitgetheilten Beobachtungen (9—15) ist bereits nachgewiesen, dafs, abgesehen von secundären Erscheinungen, der Magnet auf den elektrischen Lichtstrom in gasverdünnten Röhren in gleicher Weise, wie auf den an metallischen Leitern gebundenen elektrischen Strom wirkt. Wenn es auch der grofsen Schwierigkeiten in der technischen Ausführung wegen, bisher nicht gelang, Apparate herzustellen, die mit elektrischem Licht die Rotation des Baflow'schen Rades und ähnliche Erscheinungen wiedergeben, so erkennen wir doch schon in den erhaltenen unvollständigen Resultaten eine neue Bestätigung der obigen Behauptung.

58. Die folgende Beobachtung möchte der Erwähnung nicht unwerth seyn. Dafs in Folge der magnetischen Anziehung und Abstofsung des Lichtstroms, dessen Intensität an einzelnen Stellen bald vermehrt, bald vermindert wird, wurde von mir gleich anfangs beobachtet und war von vornherein klar. Seitdem habe ich aber durch die Annäherung einer Röhre, durch welche die Entladung ging, an den Magneten, den Lichtstrom sich schwächen und ganz erlöschen gesehen und zugleich, was eine Aenderung in den Leitungsverhältnissen anzeigt, den Gang des Hammers des Ruhmkorff'schen Apparates dadurch gestört werden.

59. Ferner verdient die *verschiedenartige* Einwirkung auf verschieden gefärbtes Licht, das in dem elektrischen Lichtstrom ursprünglich vereinigt ist, unsere Aufmerksamkeit. Sie tritt z. B. an Röhren die Bromwasserstoff oder Jodwasserstoff enthalten auf und das verschiedene Licht entspricht wahrscheinlich verschiedener ponderabelen Materie in den Röhren. Das ursprüngliche Licht wird dadurch in Licht von verschiedener Farbe zerlegt, das unter gewissen Verhältnissen als verschieden gefärbte Blitze auftritt (18). Davon hängt auch die später noch zu erwähnende Erscheinung ab, dafs in engern Röhren, die Farbe

des Entladungsstroms doch den Magneten sich vorübergehend ändert.

60. Das elektrische Licht des Entladungsstroms verbreitet sich in den Geifsler'schen Röhren auch auf diejenigen Theile, die nicht auf dem Wege der Entladung liegen. Diefs geschieht zum Beispiel in längeren engen Röhren, die an irgend einer Stelle der Hauptröhre angeschmolzen sind, und die, nachdem sie zur Evacuirung gedient haben an ihren Enden zugeschmolzen und zuletzt nahe der Hauptröhre abgeblasen werden. Die nachstehende Beobachtung beweist, dafs dieses Licht kein ruhendes ist, wie das Licht einer Flamme und das magnetische es ist Licht das bis zum Ende der Röhre hin und wieder zurückströmt, um dann wieder einen Theil der allgemeinen elektrischen Strömung zu bilden.

61. Unter den von Hrn. Geifsler auf den Effect berechneten Röhren war eine cylindrische von etwa 25^{cm} Länge und 3 bis 4^{cm} Dicke. In derselben befand sich eine mehrmals umgebogene enge Röhre, die im Ganzen eine Länge von mehr als einem Meter hatte, deren eines Ende eine Platinelektrode enthielt und in das erste Ende der weitern Röhre eingeschmolzen war, während das andere Ende derselben in die letztgenannte Röhre mündete nahe dem zweiten Ende derselben, wo sich dieselbe stark verengte und dann erst wieder sich erweiterte, um die andere Elektrode aufzunehmen. Wenn der elektrische Strom aus der engen Röhre in die weitere sich ergofs, so ging er nur zum Theil durch die Verengung, theilweise verbreitete er sich rückwärts in die weite Röhre, schöne Ringe um die zusammengelegte enge Röhre bildend. Als die Röhre in aequatorialer Lage auf den Magneten gelegt wurde, vertheilte sich das Licht auf den untern und obern Theil derselben. Von der Oeffnung der engern Röhre senkte sich die Strömung nach unten, zog sich an dem untern Theil der Röhre rückwärts und stieg dann, um sich an dem obern Theile der Röhre nach der Verengung hinzuziehen. Bei anderer Stromrichtung und commutirter magnetischer Pola-

rität ergaben sich die vorauszusagenden Modificationen der Erscheinung. Auffallend war es, dafs an dem *zweiten* Ende der weitern Röhre immer magnetisches Licht auftrat, welches auch die Richtung der elektrischen Entladung seyn mochte.

Ablenkbarkeit der elektrischen Lichtströmungen durch Annäherung von Leitern.

62. Ein merkwürdiger Umstand ist die verschiedene Ablenkbarkeit der elektrischen Lichtströmungen, wenn wir die Hand oder einen andern Leiter denselben nähern. Diese Ablenkbarkeit ist je nach der verschiedenen Natur der ponderabeln Substanz in den Röhren sehr verschieden; sie ist namentlich höchst merkwürdig, wenn die Röhren Dampfspuren von Kieselfluorgas enthalten. Ich theile hier eine Beobachtung mit, die von Hrn. Geifsler herrührt und die ich als die seinige hier gebe.

63. Unter den verschiedenen Formen die Hr. Geifsler neuerdings seinen Röhren giebt, zeichnet sich eine Form durch die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, die sie bietet, besonders aus. Röhren dieser Art von 50 bis 70^{cm} Länge sind aus mehreren Theilen zusammengesetzt. In der Mitte haben sie eine cylindrische oder ellipsoïdische Erweiterung, an den Enden befinden sich ein weiterer kurzer Cylinder und eine Kugel, in welchen die beiden Platin-Elektroden eingeschmolzen sind. Der mittlere Theil ist mit den beiden äufsern durch zwei Röhren von verschiedener Weite im Innern verbunden, die engere dieser Röhren ist eine etwas weite Thermometerröhre.

64. Eine der eben beschriebenen Röhren enthielt Kieselfluorgas; der elektrische Lichtstrom verbreitete sich in dem mittleren weiten Cylinder mit einer verwaschenen Farbe, während die Intensität des Lichts in den beiden Verbindungsröhren intensiver war und zwar bei Weitem am intensivesten in der engern dieser beiden Röhren. In der die negative Elektrode einschliefsenden Kugel verbreitete sich eine schöne Atmosphäre magnetischen Lichtes.

65. Schon bei der Annäherung der Hand aus gröfserer Entfernung wurde das Licht in dem mittlern Cylinder abgelenkt. Wenn man den Cylinder mit den Fingern berührte, wurde das Licht *bald* zu den berührten Stellen hingezogen und concentrirte sich daselbst, *bald* floh es von den berührten Stellen, indem zugleich breite dunkle Schichten die Lichtströmung in dem Cylinder unterbrachen. Bei einer Commutation des Ruhmkorff'schen Apparates trat immer die entgegengesetzte Erscheinung auf.

Die beschriebenen sehr auffälligen Erscheinungen würden einen inneren Widerspruch einschliefsen, wenn zu beiden Seiten des mittleren Cylinders Alles symmetrisch wäre. Die freie Spannung der beiden Enden des inducirten Drahtes ist eine sehr verschiedene, aber man überzeugt sich bald, dafs hierin der Grund nicht lag. Es blieb also nichts übrig, als diesen Grund in der verschiedenen Weite der beiden Verbindungsröhren zu suchen und es ergab sich wirklich, *dafs das Licht in dem mittleren Cylinder durch die Hand entweder angezogen oder abgestofsen wird, je nachdem die positive Lichtströmung aus der weiteren oder engeren dieser beiden Verbindungsröhren in den weiten mittleren Cylinder eintritt.*

Spectra der elektrischen Lichtströmungen.

66. Es stand mit Sicherheit zu erwarten, dafs, wenn man eine Röhre, welche die Ruhmkorff'schen schwarzen Streifen deutlich zeigt, durch ein Prisma ansieht, diese Streifen zu Longitudinalstreifen sich verlängern, welche durch alle Farben des Spectrums sich hindurchziehen. Ich fand dieſs gleich bei der Prüfung der ersten Geifsler'schen Röhren auf dem hiesigen physikalischen Cabinette bestätigt und überzeugte mich zugleich bei dieser Gelegenheit, dafs solche Röhren, je nach der Natur der Spuren von Gasen oder Dämpfen die sie enthalten, schöne Spectra von der gröfsten Mannigfaltigkeit geben. Alle diese Spectra stimmen im Allgemeinen darin überein, dafs die verschiedenen Farben nicht wie in dem gewöhnlichen Sonnenspectrum in einander

überfliefsen, sondern vielmehr scharf begränzt sind und die einzelnen Farbenräume wiederum in ebenso scharf sich begränzende hellere und dunklere Streifen zerfallen. Jedes Gas hat dabei sein charakteristisches Spectrum.

67. Wenn wir durch eine der früher beschriebenen Röhren (63) den Ruhmkorff'schen Apparat entladen, so ändert sich nicht nur die Intensität des Lichtes von einem Theile der Röhre zum andern, sondern auch die Farbe; das Auge sieht zum Beispiel in einem Theile roth, in einem anderen violett und in dem mittleren Cylinder eine mehr verwaschene Farbe, so dafs man glauben sollte die leuchtend werdende, ponderabele Materie des Lichtstromes sey in der Röhre verschieden vertheilt. Dazu kommt noch, dafs in vielen Fällen, die Farbe des elektrischen Lichtes bei seinem Durchgange durch den engeren Theil der Röhre, den man, etwa in aequatorialer Lage auf die einander genäherten Anker des grofsen Elektromagneten legt, nach Erregung desselben sich ändert, und wenn das Licht vorher zum Beispiel schön roth oder violett war, schön grün oder blau wird (59). Aber in allen angeführten Fällen bleibt, was immerhin auch der Farbeneindruck fürs Auge seyn mag, für eine dasselbe Gas enthaltende Röhre, die Vertheilung der Farben in dem Spectrum *ganz von derselben Art* und nur die Intensität derselben in den verschiedenen Theilen des Spectrums ändert sich in verschiedenem Maafse. Während also das Auge, dessen Urtheil überdiefs von der äufseren Beleuchtung wesentlich beeinflufst wird, keinen Aufschlufs mehr giebt, ist durch das Spectrum die Art des in der Röhre befindlichen Gases oder Dampfes unzweifelhaft bestimmt.

68. Nehmen wir beispielsweise eine enge Röhre mit Platin-Electroden, deren inneres Volumen nur einen kleinen Bruchtheil eines Cubikcentimeters beträgt, die, ursprünglich mit Wasserstoffgas gefüllt, so weit evacuirt worden ist, bis die barometrische Spannung sich auf zwei oder drei Millimeter vermindert hat, so sind die Spuren des Gases so gering, dafs sie für keine chemische Reaction mehr vorhanden sind und die feinste chemische Waage giebt ihr Gewicht,

Bruchtheile der Tausendtheile eines Milligramms, nicht mehr an; wenn aber der elektrische Strom durch die Röhre geleitet wird, so werden die Spuren des leuchtend gewordenen Gases durch ein schönes charakteristisches Spectrum dem fast geblendeten Auge sichtbar und kenntlich gemacht.

69. Einstweilen habe ich solche Spectra nur vermittelst eines Fernrohrs, wie es Fraunhofer zur Beobachtung seiner Linien im Spectrum anwandte, beobachtet, ohne Winkel zu messen. Der brechende Winkel des Flintglasprisma, das unmittelbar vor dem Objectiv des Fernrohrs angebracht ist, war 45°. Das Ocular derselben wurde aber in der Regel durch ein anderes ersetzt, das weniger stark vergröfserte. Die enge Röhre, durch welche der Ruhmkorff'sche Apparat entladen wurde, war in einer Entfernung von 4^m vertical aufgehängt.

70. *Wasserstoffgas* gab ein verhältnifsmäfsig einfaches Spectrum, in dem fünf helle Streifen von nahe gleicher Breite besonders hervortraten: ein hell violetter Streifen *A* aus der Gränze des Spectrums, drei Streifen im Grünen, *B* die Gränze derselben nach dem Violetten hin, *D* die Gränze nach der anderen Seite hin bildend, und zwischen beiden *C* etwa um die Hälfte weiter von *B* als von *D* abstehend, und endlich ein schön gelber Streifen *E*. Von den drei Streifen im Grünen ist *D* besonders hellglänzend in gelblicher Nüance, dann folgt, was die Intensität betrifft, *C* und zuletzt *B*. Das Rothe tritt stark hervor und verbreitet sich über einen gröfseren Raum; eine scharfe dicke schwarze Linie befindet sich nahe seiner äufsersten Gränze, nach der andern Seite hin ist es durch eine breitere schwarze Linie von dem gelben Streifen *E* scharf getrennt. Auf diesem Streifen concentrirt sich das ganze gelbe Licht. Der Streifen *D* wird von dem Streifen *E* durch eine graues Intervall getrennt, der dem Intervalle zwischen *D* und *C* nahe gleich ist. Das violette Licht beschränkt sich auf den Streifen *A*. Der Raum zwischen *A* und *B* zerfällt in einen vollkommen schwarzen Raum und in einen Raum von unbestimmter dunkler Farbe. Der schwarze Raum der den Streifen *A* scharf begränzt,

ist etwa dreimal so breit als jeder einzelne der fünf hellen, gleich breiten Streifen, und etwa ein Drittel des ganzen Raumes zwischen *A* und *B*, oder zwischen *B* und *D*.

71. Um ein von dem eben beschriebenen Spectrum ganz verschiedenes noch hervorzuheben, wähle ich das schöne Spectrum von *Fluorborgas*. In diesem Spectrum, das von einer Gränze zur andern helle Farben zeigt, nimmt Roth mit Orange und Gelb etwa ein Fünftel des ganzen Raumes ein, von den übrigen vier Fünftel kommen zwei auf das Grüne und die übrigen auf das Violette. Merkwürdig ist, dafs das Auge keinen Uebergang zwischen Violett und Grün wahrnimmt, indem das Blau ganz zu fehlen scheint. Gelb und Orange bilden zwei scharf begränzte helle Streifen von nahe gleicher Breite, beide zusammen sind etwa um die Hälfte schmäler als das Rothe, von dem das Orange durch eine starke schwarze Linie getrennt ist. Nahe an der Gränze des Rothen befindet sich eine zweite solche schwarze Linie. Der Raum des Rothen zwischen diesen beiden schwarzen Linien wird durch fünf *feine* schwarze Linien in sechs gleiche Theile getheilt und in denselben Abständen von einander befindet sich auch jenseits der erstgenannten starken schwarzen Linie, im Orange und Gelben noch eine gleiche Anzahl solcher einen schwarzen Linien. Im Grünen, der gelben Gränze etwa um die Hälfte näher als der violetten, befindet sich ein hell grüner Streifen, etwa so breit als der gelbe Streifen; er theilt das Grüne in zwei von einander wesentlich verschiedene Theile. Der dem Gelben zunächst liegende Theil hat in der Mitte einen hell glänzenden Streifen, das Grüne zu beiden Seiten dieses Streifens ist nicht gleichmäfsig, es wird nach den beiden äufseren Gränzen hin immer dunkler. Der übrige Theil des Grünen und des Violetten haben ein ganz charakteristisches Ansehen. Der Raum desselben erscheint in 16 Streifen getheilt, von denen 10 auf das Violette kommen. Jeder einzelne Streifen ist nach der Seite des Rothen hin hell und wird nach der entgegengesetzten Seite hin allmählich dunkel. Die Breite der Streifen ist nicht ganz dieselbe, gegen die Mitte des Violetten hin

ist sie am gröfsten, der breiteste dieser Streifen ist auf der einen Seite hell glänzend violett, auf der andern absolut schwarz. An dieser Stelle erscheint das Spectrum im Fernrohre wie eine cannelirte Säule in heller Beleuchtung.

72. Einstweilen beschränke ich mich auf die Beschreibung der obigen beiden Spectra. Die schwierigste Frage der bei Entladung der Elektricität durch gasverdünnte Räume betrifft die chemische Natur der ponderablen Substanz, welche die so unendlich mannichfaltigen Lichterscheinungen hervorbringt und diese kann mit Sicherheit nur in Gemeinschaft mit der prismatischen Analyse des dabei auftretenden Lichtes behandelt werden, um so mehr da auf diesem Wege auch jede plötzliche oder allmähliche chemische Veränderung der Substanz erkannt wird.

73. Als Bestätigung der letzten Behauptung führe ich das folgende Beispiel an. Es schien mir vor Allem wünschenswerth das Spectrum des Sauerstoffgases zu bestimmen und wie die übrigen Spectra in Farben darzustellen. Hr. Geifsler stellte mit seiner bekannten Kunstfertigkeit die dazu erforderliche Röhre her, wobei er das Sauerstoffgas aus chlorsaurem Kali bereitete. Das hellfleischfarbige Licht in dem engen Theile der Röhre gab ein Spectrum, das sich durch einen besonders hellen Streifen am Ende des Rothen und durch zwei schöne orangefarbenen Streifen, die durch einen dünneren, vollkommen schwarzen getrennt waren, auszeichnete. Auch im Grünen traten helle Streifen hervor, das Violette war sehr dunkel. Eine Verständigung über das, was nach einander gesehen würde, war zwischen mir und dem Studirenden Hrn. Liek, der für mich das Spectrum zeichnen wollte, nicht möglich und ich erkannte den Grund davon bald in der fortwährenden Aenderung des Spectrums. Das Violette trat intensiver mit schwarzen Stellen hervor, die helle Linie, auf welche das Rothe ursprünglich beschränkt war, erblafste immer mehr, in einem breitern Raume traten hellrothe Streifen mit dunkeln abwechselnd auf; mit einem Worte, das ganze Spectrum hatte sich verändert. Das Licht in der engen Röhre wurde immer mehr grün und nahm an Helligkeit zu.

Ich liefs den etwas verstärkten Inductionsstrom des durch 5 statt durch 3 Grove'sche Elemente erregten Ruhmkorff'schen Apparates fortwährend in gleicher Richtung durch die Röhre hindurchgehen. Das Spectrum blieb eine Zeitlang so constant, dafs es bequem gezeichnet werden konnte, fing dann aber an rasch an Intensität abzunehmen, wobei das Licht in der engen Röhre allmählich ganz violett wurde, bald wurde die Entladung durch die Röhre von Zeit zu Zeit unterbrochen und endlich zeigten sich nur noch einzelne Entladungen, bis zuletzt der Strom *ganz aufhörte* durch die Röhre hindurchzugehen.

Ich halte das ursprüngliche Spectrum für das Spectrum des Sauerstoffgases, das, unter freier Form, offenbar allmählich verschwindet. Das zweite Spectrum ist, wenn wir nicht an Ozonbildung denken wollen, mit Wahrscheinlichkeit der hierbei allmählich sich geltend machenden Spuren eines anderen aus der Röhre nicht ganz vertriebenen Gases zuzuschreiben, worüber entscheidende Versuche noch anzustellen sind. Nach vollständigem Verschwinden des freien Sauerstoffgases enthält die Röhre ganz in Uebereinstimmung mit den älteren Versuchen des Hrn. Faraday und den neueren des Hrn. Masson, zu wenig Gas, um den Strom durchzulassen, das Innere der Röhre verhält sich wie ein absolut leerer nicht leitender Raum.

Schon vor dem gänzlichen Erlöschen des Stromes in der Röhre, suchte ich, durch eine Commutation, die Continuität der Entladung wieder herzustellen, aber umsonst. Bei dieser Commutation erfüllte sich die Kugel um den negativen Pol mit dem früher schon erwähnten, räthselhaften schön grünen Lichte (35), aber auch dieses Licht erlosch, sobald der Strom aufhörte durch die Röhren zu gehen.

Der Strom war im Ganzen etwa $1\frac{1}{4}$ Stunde durch die Röhre gegangen.

74. Ich breche hier ab, weil, isolirt von der chemischen Frage, die Untersuchungen über die Spectra der verschiedenen Gase den nothwendigen Grad von Sicherheit nicht haben können. Diese Spectra sind wesentlich verschieden

von denjenigen, welche dem elektrischen Lichtbogen in der Luft und den in demselben glühenden oder verbrennenden Metallen entsprechen. Ich zweifle daran, dafs von den Elektroden übergeführte Theilchen Einflufs auf die oben beschriebenen Spectra haben (51) sondern glaube vielmehr, dafs dieselben lediglich dem verdünnten Gase angehören. Der elektrische Lichtbogen in der Luft ist dagegen niemals frei von übergeführter Materie (Kohle oder Metall), deren Leuchten neue, jeder Substanz eigenthümliche, helle Linien zu dem Spectrum hinzubringt [1]).

75. In Verbindung mit der chemischen Frage gedenke ich die Frage über die Spectra wieder aufzunehmen. Es ist, um den Ausdruck zu gebrauchen, eine Art von Mikrochemie, der wir hier begegnen und Verhältnisse finden hierbei statt, welche von denjenigen, unter welchen chemische Wirkungen gewöhnlich stattfinden, verschieden sind. Erst dann werden mannigfaltige, für Moleculartheorie nicht unwichtige Fragen, wie die nachstehenden eine befriedigende Lösung finden.

Wie leitet sich das Spectrum eines gemengten Gases aus den Spectra der einzelnen Gase ab?

Wie verhalten sich die Spectra vor und nach der chemischen Zersetzung eines zusammengesetzten Gases durch den Strom?

Wie giebt sich in dem Spectrum die chemische Verbindung, welche das Gas mit der Elektrode eingeht, kund?

Geben isomerische Gase gleiche Spectra?

Bonn, den 30. März 1858.

1) Vergleiche die interessante Arbeit von Hrn. Masson über elektrische Photometrie.

VI. *Ueber die Rotation des elektrischen Lichtes um die Pole eines Elektromagnets;* von *A. de la Rive.*

In einem Briefe an Hrn. Regnault (*Comptes rendus* 1849) hatte ich einen Versuch beschrieben, welcher die Einwirkung des Magnetismus auf die leuchtende elektrische Entladung im luftleeren Raum nachweisen sollte. Bei einer wiederholten Beschreibung meiner Versuche in meinem *Traité d'électricité* [1]) habe ich zugleich darauf aufmerksam gemacht, wie die beobachteten Phänomene zur Erklärung der Form des Nordlichts dienen können.

Eine Abhandlung des Hrn. Plücker [2]) betreffend die Einwirkung eines Elektromagnets auf die Entladungen des Ruhmkorff'schen Apparates veranlafst mich, auf meine Versuche zurückzukommen, und dabei einige genauere Angaben beizufügen, wie man dieselben mit sicherem Erfolge anstellen kann.

Mein Apparat besteht aus einem Glasballon von der Form des elektrischen Eies. Derselbe hat an zwei entgegengesetzten Seiten zwei Tubuli, von denen der eine einen Hahn trägt, durch welchen man die Luft aus dem Ballon entfernen kann, und der andere dazu dient, in den Ballon einen Stab von weichem Eisen von etwa 2 Centimeter Durchmesser einzukitten. Der Eisenstab ist auf seiner ganzen Oberfläche, mit Ausnahme seiner beiden Endflächen, von einer dicken isolirenden Schicht umgeben, welche aus 2 concentrischen Glasröhren gebildet ist, zwischen die man Wachs oder Schellack gegossen hat. Die äufsere Glasröhre ist aufserdem von einer recht gleichförmigen Wachsschicht bedeckt. Nahe an der Tubulirung im Innern des Ballons trägt der Eisenstab über der isolirenden Wachsschicht einen Ring von Kupfer,

1) *T. II*, 248. *T. III.*
2) Diese Annalen 1858. No. 1. S. 88 u. 151.

den man mittelst eines aufserhalb zu einem Haken umgebogenen Drahtes mit dem einen Pol einer äufseren Elektricitätsquelle verbinden kann. Man verbindet aufserdem das aus dem Ballon herausragende Ende des Eisenstabes entweder mit dem Erdboden oder mit dem anderen Pol der Elektricitätsquelle. Der Kupferring ist, wie beschrieben, von dem Eisenstab durch eine dicke isolirende Schicht getrennt. Auf diese Weise entsteht, wenn die Luft im Ballon genügend verdünnt ist, zwischen dem in demselben befindlichen Ende des Eisenstabes und dem Kupferring an der Basis des letzteren ein Lichtbüschel, welches mehr oder weniger in Form eines leuchtenden Cylinders den Eisenstab umgiebt, und aus hellen und dunklen der Axe des Eisenstabes parallelen Streifen zusammengesetzt ist. Magnetisirt man jetzt den Eisenstab, indem man ihn mit seinem äufseren Ende auf den Pol eines starken Elektromagnetes setzt, ohne sonst etwas an der Anordnung des Versuches zu ändern, so sieht man augenblicklich, wie diefs elektrische Licht sich ganz anders verändert und eine sehr schnelle rotatorische Bewegung um den magnetisirten Eisenstab annimmt.

So weit hatte ich schon früher den Versuch beschrieben; im Folgenden werde ich einige Einzelheiten zufügen. Bei der ersten Anstellung meiner Versuche im Jahre 1849 hatte ich mich einer hydro-elektrischen Maschine von Armstrong bedient, die Funken von nahezu einem Fufs Länge gab. Später wandte ich auch eine starke Elektrisirmaschine gewöhnlicher Construction an, nur war die Erscheinung weniger deutlich, da die Elektricitätsentwicklung nicht so bedeutend und die Entladungen weniger continuirlich waren. — Das beste Mittel indefs, um die günstigsten Resultate zu erzielen, ist die Anwendung eines Ruhmkorff'schen Inductionsapparates. Man verbindet die Enden des inducirten Drahtes mit dem äufseren Ende des Eisenstabes und mit dem Kupferringe an seiner Basis vermittelst des oben erwähnten Hakens.

Bevor ich eine nähere Beschreibung der merkwürdigen Erscheinung bei Anwendung des Ruhmkorff'schen Apparates gebe, mufs ich bemerken, dafs der luftleere Ballon eine

gewisse Quantität von Wasserdampf, oder auch von Alkohol, Aether oder Schwefelkohlenstoffdampf enthalten mufs. Die Spannung dieses Dampfes mufs ungefähr dem Druck einer Quecksilbersäule von 4 bis 5 Millimeter Höhe das Gleichgewicht halten. Zuweilen ist der in der Luft enthaltene Wasserdampf, welcher nach dem Auspumpen des Ballons auf 3 bis 4 Millimeter Druck zurückbleibt, genügend, um das Phänomen hervorzubringen; besser ist es indefs, direct den Wasserdampf einzuführen, oder auch wie ich gesagt habe, den Dampf einer noch flüchtigeren Flüssigkeit. — Es genügt, wenn man einmal den Ballon luftleer gemacht hat, in denselben die Luft eintreten zu lassen, welche sich über der in einer Flasche aufbewahrten Flüssigkeit befindet. Ist dieselbe nicht flüchtig genug, so mufs man sie verdünnen. Dann pumpt man von Neuem die Luft im Ballon bis auf 3 bis 4 Millimeter Dichte aus.

Die Erscheinung des elektrischen Lichtes in dem beschriebenen Apparate bei Anwendung des Ruhmkorff'schen Apparates ist nun folgende. Verbindet man den positiven Pol des inducirten Stromes mit dem Eisenstab, den negativen mit dem Metallring an seiner Basis, so sieht man vor der Magnetisirung einen oder mehrere einzelne Lichtstreifen, die von der oberen Kante des Eisenstabes ausgehen, und zwischen der letzteren und dem Metallring krumme Linien bilden, ähnlich denen beim Versuch mit dem elektrischen Ei. Dabei ist die obere Fläche des Stabes mit einzelnen leuchtenden Punkten bedeckt, die sich wie die Theilchen einer kochenden Flüssigkeit bewegen. — Sobald man aber den Stab magnetisirt, indem man ihn mit seiner Basis auf den Pol eines Elektromagnets setzt, so nehmen die Lichtstreifen sogleich eine rotatorische Bewegung an, deren Richtung davon abhängt, ob der Pol des Elektromagnetes ein Nord- oder Südpol ist. Bemerkenswerth ist es, dafs dabei die leuchtenden Punkte, die auf der ganzen oberen Fläche des Eisenstabes verbreitet waren, verschwinden, und nur auf den Rändern sich bilden, wo sie einen Lichtring bilden, der zugleich mit den Licht-

streifen und in demselben Sinne wie diese rotirt. — Kehrt man die Richtung der inducirten Ströme um, indem man die Elektroden vertauscht, so kehrt sich ebenfalls die Richtung der Rotation um; indefs ist die Erscheinung weniger glänzend, da jetzt der dunkle Theil der Entladung sich um die obere Fläche des Eisenstabes verbreitet findet, die negative Elektricität von dort ausgeht.

Ich erwähne noch einiger Eigenheiten der Erscheinung, die mir aufgefallen sind. Zuerst bemerkt man, dafs der oder die Lichtstreifen, wenn mehrere sich bilden, im Moment der Entmagnetisirung zu rotiren aufhören und dann fortfahren von demselben Punkt auszugehen, von dem sie im Moment des Aufhörens der Rotation ausgingen und zwar, welches auch jener Punkt gewesen sey, während vor der Magnetisirung die Streifen stets von denselben Punkten des Eisenstabes ausgingen. Eine andere ziemlich wichtige Bemerkung ist die, dafs, wenn die Rotation einige Zeit gedauert hat, die Lichtstreifen sich ausbreiten, und um den Eisenstab eine fast ununterbrochene cylindrische Lichthülle bilden, welche mit grofser Geschwindigkeit rotirt. Häufig bleiben die einzelnen der Axe parallelen Linien der Cylinderfläche nicht mehr senkrecht, sondern neigen sich, wie wenn sie an ihrer Basis einen gewissen Widerstand erführen. Die horizontale Streifung der Lichtstreifen neigt sich gleichfalls wie die Streifen selbst.

Der äufsere Anblick der Erscheinung im Allgemeinen und die Geschwindigkeit der Rotation im Besondern ändert sich mit der Beschaffenheit der in den Ballon eingeführten Dämpfe; indefs verdient dieser Punkt eine speciellere Untersuchung, mit der ich beschäftigt bin, die aber noch nicht völlig beendigt ist.

Ich will nicht auf die Analogie zwischen den soeben beschriebenen elektromagnetischen Lichterscheinungen und dem Nordlicht zurückkommen, und erwähne nur bei dieser Gelegenheit, dafs ein englischer Physiker, Hr. Robinson, eine neue Uebereinstimmung der Natur des Nordlichtes und des elektrischen Lichtes gefunden hat. Beide nämlich haben

die Eigenschaft in Substanzen, wie das schwefelsaure Chinin, Fluorescenz zu erzeugen. In beiden müssen also die am stärksten brechbaren Strahlen enthalten seyn.

VII. *Ueber die Modification der mittleren Löslichkeit einiger Salzatome und des mittleren Volums dieser Lösungen; von P. Kremers.*

(Fortsetzung von Bd. 103, S. 57.)

An die achtzehn Salzatome, welche aus der Combination der beiden Seitentriaden Li, Na, K und Ca, Sr, Ba mit der Triade Cl, Br, J resultiren, reihen sich die neun andern Salzatome an, welche entstehen, wenn die Mitteltriade Mg, Zn, Cd ebenfalls mit der Triade Cl, Br, J combinirt wird. Diese neun Salzatome der Mitteltriade werden im Folgenden sowohl unter sich als auch mit den homologen Gliedern der beiden Seitentriaden hinsichtlich der Intensitäten zweier physikalischer Eigenschaften verglichen, der Löslichkeit nämlich und der Räume dieser Lösungen. Die letztere dieser beiden Eigenschaften habe ich bisher am ausführlichsten untersucht und werde sie hier zunächst behandeln. Zuvor verdient indefs füglich noch auf die so einfache Gesetzmäfsigkeit hingewiesen zu werden, welche die unmittelbaren Beobachtungen, worauf die ganze folgende Entwickelung fufst, nämlich die specifischen Gewichte gleich concentrirter Salzlösungen miteinander verknüpft.

Die beigegebene Figur 3 Taf. I giebt einen allgemeinen Ueberblick über diese einfachen Verhältnisse. Es ist daselbst die Anzahl der in 100 Gewichtstheilen Wasser aufgelösten wasserfreien Salzatome durch Abscissen und das diesem Concentrationsgrade entsprechende specifische Gewicht durch Ordinaten dargestellt. Die in dieser Weise erhaltenen Curven haben zunächst das miteinander gemein,

dafs sie stetig gekrümmte Linien sind. Was ferner die relative Lage der einzelnen Curven zu einander betrifft, so ist diese durch das Gewicht der Salzatome gegeben. In dem Schema

Li	Na	K
Mg	Zn	Cd
Ca	Sr	Ba

wächst nämlich das Gewicht der Atome ebensowohl in den horizontalen Columnen von links nach rechts, als auch in den verticalen Columnen von oben nach unten und wachsen auch genau in derselben Weise die specifischen Gewichte der Salzlösungen, mögen die gelösten Salzatome nun entstanden seyn, indem von jenen neun Atomen jedes sich mit dem Atom Cl oder mit dem Atom Br oder mit dem Atom J verbindet. Dasselbe Verhältnifs zwischen dem Gewichte der Salzatome und dem specifischen Gewichte der Salzlösungen beobachtet man ferner noch, wenn von jenen neun Atomen jedes sich mit den Atomen Cl, Br und J verbindet. Man kann also, wenn man die neun Chlorüre ebenso gruppirt, wie in dem vorstehenden Schema die Metalle gruppirt sind und in gleicher Weise auch die Bromüre und Jodüre und diese Gruppen in drei parallelen Ebenen so aufeinander schichtet, dafs in der untersten Ebene die Chlorüre, in der nächstfolgenden die Bromüre und in der obersten Ebene die Jodüre liegen, einen Würfel von 27 Salzatomen darstellen, welcher die Eigenschaft besitzt, dafs von einer Ecke (Li Cl) aus nach allen drei Richtungen ebensowohl die Gewichte der Salzatome als auch die specifischen Gewichte der gleich concentrirten Lösungen wachsen. Ob diese so einfache Gesetzmäfsigkeit für alle Concentrationsgrade eine gleiche Gültigkeit hat, oder ob sie nur eine beschränkte Anwendung findet, ist ein Punkt, welcher hier zunächst zu erörtern ist.

Wie man aus Figur 3 ersieht, unterscheiden sich die specifischen Gewichte ebensowohl, wenn man die Glieder ein und derselben Triade als auch wenn man die homologen Glieder conjugirter Triaden miteinander vergleicht, um so mehr, je gröfser die relativen Gewichtsunterschiede der miteinander verglichenen Salzatome sind. Die Curven der Chloralkalien liegen so nahe beisammen, dafs sie getrennt von denen der Bromalkalien verlaufen, in jene nicht hinübergreifen und beobachtet man auch dasselbe Verhältnifs zwischen den Brom- und Jodalkalien. Die Chlorüre der Mitteltriade dagegen liegen schon so weit auseinander, dafs sie in die Bromüre hinübergreifen, wie diefs denn auch zwischen den Bromüren und Jodüren stattfindet. Wie die Mitteltriade ebenso verhält sich auch die schwerere Seitentriade Ca, Sr, Ba. Dieses Uebergreifen ist indefs sehr regelmäfsig. Homologe Glieder liegen wieder zwischen homologen Gliedern. Cd Cl z. B. liegt zwischen Mg Br und Zn Br und dem entsprechend Ba Cl zwischen Ca Br und Sr Br; es liegt ferner Cd Br zwischen Mg J und Zn J und dem entsprechend Ba Br zwischen Ca J und Sr J. Die letztern Curven, die der Mitteltriade und die der schwersten Seitentriade, gehen um so weiter auseinander, je weiter sie verfolgt wurden, von den erstern dagegen, denen der leichtesten Seitentriade, treten Na Br und Kr B bei 50 Atomen schon sehr nahe zusammen und Na J und K J schneiden sich sogar ebendaselbst. Die vorerwähnte Gesetzmäfsigkeit gilt also in ihrer Allgemeinheit nur innerhalb bestimmter Concentrationsgrade.

Um Wiederholungen zu vermeiden unterlasse ich es, hier auf die Modification des mittlern specifischen Gewichts näher einzugehen, und gehe sogleich zum eigentlichen Gegenstande dieser Blätter, der Modification des mittlern Volums, über.

Die hiernächst folgende Tabelle enthält eine übersichtliche Zusammenstellung der Räume, welche die verschiedenen Concentrationsgrade der genannten 27 Salzlösungen einnehmen. Ein Theil derselben wurde bereits früher an

verschiedenen Orten angeführt [1]), der andere Theil wurde aus den im Anhange zusammengestellten Beobachtungen durch graphische Interpolation erhalten. Die erste senkrechte Columne der Tabelle enthält die Anzahl der in 100 Gewichtstheilen Wasser aufgelösten Salzatome, die folgenden enthalten die diesen wachsenden Concentrationsgraden entsprechenden Volumina.

Atome	Li Cl	Diff.	Na Cl	Diff.	K Cl	Diff.
10	101,80	196	101,80	200	102,90	306
20	103,76	204	103,80	210	105,96	314
30	105,80	206	105,90	218	109,10	324
40	107,86	208	108,08	228	112,34	334
50	109,94	210	110,36	234	115,68*	
60	112,04	212	112,70	240		
70	114,16	212	115,10*[2])			
80	116,28	212				
90	118,40	212				
100	120,52					
	Mg Cl		Zn Cl		Cd Cl	
10	100,88	108	100,96	132	101,46	170
20	101,96	120	102,28	164	103,16	176
30	103,16	126	103,92	188	104,92	186
40	104,42	130	105,80	196	106,78	192
50	105,72	138	107,76	198	108,70	194
60	107,10	146	109,74	200	110,64	198
70	108,56	152	111,74	202	112,62	204
80	110,08	154	113,76	204	114,66	
90	111,62	156	115,80	208		
100	113,18		117,88			
	Ca Cl		Sr Cl		Ba Cl	
10	101,08	130	101,14	134	101,42	162
20	102,38	142	102,48	150	103,04	174
30	103,80	148	103,98	156	104,78	180
40	105,28	156	105,54	168	106,58 *	
50	106,84	162	107,22	170		
60	108,46	168	108,92	172		
70	110,14	172	110,64			
80	111,86	178				
90	113,64	184				
100	115,48					

1) Hin und wieder wird man kleine unwesentliche Abweichungen von andern früher angeführten Interpolationswerthen finden, wodurch die Differenzen regelmäfsiger geworden sind.

2) Die mit * bezeichneten Volumina liegen nicht mehr innerhalb der Gränzen der Beobachtungen.

Atome	Li Br	Diff.	Na Br	Diff.	K Br	Diff.
10	102,76		102,50		103,64	
		282		272		386
20	105,58		105,22		107,50	
		284		278		392
30	108,42		108,00		111,42	
		286		286		398
40	111,28		110,86		115,40	
		288		292		402
50	114,16		113,78		119,42	
		288		296		
60	117,04		116,74			
		288		300		
70	119,92		119,74			
		288		306		
80	122,80		122,80			
		290				
90	125,7					
		290				
100	128,6					

	Mg Br		Zn Br		Cd Br	
10	101,72		101,40		102,22	
		190		188		252
20	103,62		103,28		104,74	
		196		224		256
30	105,58		105,52		107,30	
		206		252		262
40	107,64		108,04		109,92	
		216		260		264
50	109,80		110,64		112,56	
		218		262		266
60	111,98		113,26		115,22	
		222		264		268
70	114,20		115,90		117,90	
		226		266		
80	116,46		118,56			
		230		270		
90	118,76		121,26			
				272		
100			123,98			

	Ca Br		Sr Br		Ba Br	
10	101,80		101,94		102,46	
		198		206		264
20	103,78		104,00		105,10	
		206		218		270
30	105,84		106,18		107,80	
		212		230		282
40	107,96		108,48		110,62	
		222		234		290
50	110,18		110,82		113,52	
		226		238		294
60	112,44		113,20		116,46	
		230		242		298
70	114,74		115,62		119,44	
		236				
80	117,10					
		242				
90	119,52					
		248				
100	122,00					

Atome	LiJ	Diff.	NaJ	Diff.	KJ	Diff.
10	103,64		103,66		104,64	
		360		370		480
20	107,24		107,36		109,44	
		362		374		482
30	110,86		111,10		114,26	
		362		380		490
40	114,48		114,90		119,16	
		364		390		500
50	118,12		118,80		124,16	
		364		392		502
60	121,76		122,72		129,18	
		36		392		502
70	125,40		126,64		134,20	
		36		394		504
80	129,0		130,58		139,24	
		36		394		
90	132,6		134,52			
		36		396		
100	136,2		138,48			

	MgJ		ZnJ		CdJ	
10	102,58		102,68		103,34	
		274		302		346
20	105,32		105,70		106,80	
		280		316		348
30	108,12		108,86		110,28	
		290		356		354
40	111,02		112,42		113,82	
		294		364		358
50	113,96		116,06		117,40	
		298		372		362
60	116,94		119,78		121,02*	
		302		378		
70	119,96		123,56			
		31		380		
80	123,1*		127,36			
				380		
90			131,16			
				380		
100			134,96			

	CaJ		SrJ		BaJ	
10	102,86		102,92		103,20	
		302		312		338
20	105,88		106,04		106,58	
		306		318		342
30	108,94		109,22		110,00	
		310		326		346
40	112,04		112,48		113,46	
		322		334		350
50	115,26		115,82		116,96	
		328		338		358
60	118,54		119,20		120,54	
		330		340		366
70	121,84		122,60		124,20	
		34		346		
80	125,2*		126,06			
				352		
90			129,58			

Die Zahlen der vorstehenden Tabelle sind in Fig. 4, Taf. I graphisch dargestellt. Es sind daselbst die Anzahl der gelösten Salzatome durch Abscissen und die entsprechenden Volumina durch Ordinaten wiedergegeben. Wie man aus dieser Figur und aus den in der vorstehenden Tabelle angeführten Differenzen ersieht, sind die Volumscurven der Salzlösungen auch wieder stetig gekrümmte Linien,

welche in dem Maafse, als sie von dem Coordinatenanfangspunkte sich entfernen, der geraden Linie sich mehr und mehr nähern. Ihre relative Lage ist nicht ganz so einfach, wie die der Curven der spec. Gewichte. Wenn man wie oben, so auch hier wieder dem Vergleiche das Schema

Li	Na	K
Mg	Zn	Cd
Ca	Sr	Ba

zu Grunde legt, so wird man folgendes beobachten:

Verbinden sich die neun Atome mit Cl, so wachsen in jeder horizontalen Columne, also in jeder der drei Triaden, die Volumina der Salzlösungen mit dem Gewichte der Salzatome. Dasselbe beobachtet man, wenn die neun Atome sich mit dem andern Seitengliede, mit J, verbinden. In jedem dieser beiden Fälle gilt diefs für alle bisher untersuchten Concentrationsgrade. Verbinden sich indefs die neun Atome mit dem Mittelgliede Br, so wird die Erscheinung insofern modificirt, als die Mittelglieder NaBr, ZnBr und SrBr erst bei einem bestimmten Concentrationsgrade zwischen ihre Seitenglieder resp. LiBr und KBr, MgBr und CdBr, CaBr und BaBr treten und so die vorerwähnten einfachen Verhältnisse herstellen. Diese Concentrationsgrade sind um so bedeutender, je leichter die Triaden sind. Wie nämlich die Zahlen der vorstehenden Tabelle ausweisen, tritt die Curve des Mittelgliedes NaBr zwischen die seiner Seitenglieder LiBr und KBr erst bei dem Concentrationsgrade 80, die des nächstschwereren Mittelgliedes ZnBr tritt schon bei dem Concentrationsgrade 30 zwischen die seiner Seitenglieder MgBr und CdBr und die des schwersten Mittelgliedes SrBr liegt schon bei dem Concentrationsgrade 0 zwischen denen seiner Seitenglieder CaBr und BaBr.

Um nun zu den verticalen Columnen des vorstehenden Schemas überzugehen, so haben diese mit den horizontalen

das gemein, dafs die Mittelglieder auch wieder erst bei bestimmten Concentrationsgraden zwischen ihre Seitenglieder treten, sie unterscheiden sich indefs von diesen wesentlich dadurch, dafs stets dem schwereren Seitengliede nicht das gröfsere, sondern das kleinere Volum entspricht. Hinsichtlich der Concentrationsgrade, bei welchen die Mittelglieder zwischen ihre Seitenglieder treten, zeigen die verticalen und horizontalen Columnen sehr viele Analogien, wie diefs der folgende Vergleich zeigen wird.

Verbinden sich zunächst wieder die neun Atome mit Cl, so liegt das Mittelglied Cd Cl der schwersten Columne bei allen bisher beobachteten Concentrationsgraden zwischen seinen beiden Seitengliedern K Cl und Ba Cl, das Mittelglied Zn Cl der mittleren Columne tritt erst zwischen seine beiden Seitenglieder Na Cl und Sr Cl bei dem Concentrationsgrade 31 und das Mittelglied Mg Cl der leichtesten Columne kann zwischen seine beiden Seitenglieder Li Cl und Ca Cl erst bei einem Concentrationsgrade treten, welcher weit über 100 liegt. Verbinden sich die neun Atome mit dem anderen Seitengliede, mit J nämlich, so gilt von diesen neun Salzatomen wörtlich dasselbe, was soeben hinsichtlich der neun Chlorüre angeführt wurde, mit der einzigen Ausnahme nur, dafs das Mittelglied Zn J der mittleren Columne erst bei dem Concentrationsgrade 44 zwischen seine beiden Seitenglieder Na J und Sr J tritt. Verbinden sich endlich die neun Atome mit dem Mittelgliede Br, so wird auch hier wieder die Erscheinung insofern etwas modificirt, als die Mittelglieder der *beiden* Seitencolumnen Mg Br und Cd Br zwischen ihre beiden Seitenglieder resp. Li Br und Ca Br, K Br und Ba Br erst bei einem Concentrationsgrade treten können, der über 100 liegt, und insofern weiter das Mittelglied Zn Br der mittleren Columne zwischen seine beiden Seitenglieder Na Br und Sr Br erst bei dem Concentrationsgrade 57 tritt.

Im Ganzen genommen liegen also die Mittelglieder der horizontalen Columnen schon bei niederen, die der vertica-

len Columnen dagegen erst bei höheren Concentrationsgraden zwischen ihren Seitengliedern. In den horizontalen wie in den verticalen Columnen liegen die Mittelglieder der Chlorüre und Jodüre schon bei niederen, die der Bromüre dagegen erst bei höhern Concentrationsgraden zwischen ihren Seitengliedern. Die Concentrationsgrade, bei welchen die Mittelglieder zwischen ihre Seitenglieder treten, wachsen mit dem abnehmenden Gewichte der Columnen und wird man eine Ausnahme von dieser Regel nur finden bei den Bromüren der senkrechten Columnen.

Die im Vorangehenden nur kurz geschilderten Beobachtungen, ihre Regelmäfsigkeiten und die scheinbare Ausnahme werden eine einfache Deutung finden, wenn man aus ihnen die Werthe für die Modification des mittleren Volums ableitet und die Aenderungen, welche diese bei wachsender Concentration erleiden, näher betrachtet, wozu ich denn jetzt übergehe.

Zunächst folgt auch hier wieder eine übersichtliche Zusammenstellung der Modificationen des mittleren Volums $\left(\frac{k-m}{k}\right)$, wie sie sich aus den oben angegebenen Werthen für die nachstehenden wachsenden Concentrationsgrade berechnen.

	$k = K\left(\frac{Cl+J}{2}\right)$		$k = Na\left(\frac{Cl+J}{2}\right)$		$k = Li\left(\frac{Cl+J}{2}\right)$	
Atome	m = K Br	Diff.	m = Na Br	Diff.	m = Li Br	Diff.
10	+ 0,0013		+ 0,0022		— 0,0004	
		6		12		4
20	0,0019		0,0034		0,0008	
		4		12		0
30	0,0023		0,0046		0,0008	
		7		11		2
40	0,0030		0,0057		0,0010	
		12		13		1
50	0,0042		0,0070		0,0011	
				12		1
60			0,0082		0,0012	
						0
70					0,0012	
						1
80					0,0013	
						3
90					0,0016	
						0
100					0,0016	

Atome	$A = Cd\left(\frac{Cl+J}{2}\right)$ $m = CdBr$	Diff.	$A = Zn\left(\frac{Cl+J}{2}\right)$ $m = ZnBr$	Diff.	$A = Mg\left(\frac{Cl+J}{2}\right)$ $m = MgBr$	Diff.
10	+ 0,0018		+ 0,0041		+ 0,0001	
		5		27		1
20	0,0023		0,0068		0,0002	
		5		14		4
30	0,0028		0,0082		0,0006	
		6		16		1
40	0,0034		0,0098		0,0007	
		9		15		−3
50	0,0043		0,0113		0,0004	
		10		18		0
60	0,0053		0,0131		0,0004	
				18		1
70			0,0149		0,0005	
				17		
80			0,0166			
				14		
90			0,0180			
				13		
100			0,0193			

	$A = Ba\left(\frac{Cl+J}{2}\right)$ $m = BaBr$		$A = Sr\left(\frac{Cl+J}{2}\right)$ $m = SrBr$		$A = Ca\left(\frac{Cl+J}{2}\right)$ $m = CaBr$	
10	− 0,0015		+ 0,0009		+ 0,0017	
		12		16		17
20	0,0027		0,0025		0,0034	
		11		14		16
30	0,0038		0,0039		0,0050	
		17		10		14
40	0,0055		0,0049		0,0064	
				14		14
50			0,0063		0,0078	
				13		15
60			0,0076		0,0093	
				10		15
70			0,0086		0,0108	
						13
80					0,0121	

	$A = \left(\frac{K+Li}{2}\right)J$ $m = NaJ$		$A = \left(\frac{K+Li}{2}\right)Br$ $m = NaBr$		$A = \left(\frac{K+Li}{2}\right)Cl$ $m = NaCl$	
10	+ 0,0046		+ 0,0068		+ 0,0054	
		44		56		47
20	0,0090		0,0124		0,0101	
		40		51		43
30	0,0130		0,0175		0,0144	
		34		44		39
40	0,0164		0,0219		0,0183	
		29		39		34
50	0,0193		0,0258		0,0217	
		26				
60	0,0219					
		24				
70	0,0243					
		21				
80	0,0264					

$A=\left(\frac{Cd+Mg}{2}\right)J$		$A=\left(\frac{Cd+Mg}{2}\right)Br$		$A=\left(\frac{Cd+Mg}{2}\right)Cl$	
Atome	$m=ZnJ$	Diff.	$m=ZnBr$	Diff.	$m=ZnCl$	Diff.
10	+ 0,0027		+ 0,0056		+ 0,0021	
		7		30		6
20	0,0034		0,0086		0,0027	
		— 3		0		—15
30	0,0031		0,0086		0,0012	
		—31		—18		—31
40	0,0000		0,0068		— 0,0019	
		33		—19		32
50	— 0,0033		0,0049		0,0051	
		34		—19		29
60	0,0067		0,0030		0,0080	
				—17		25
70			0,0013		0,0105	
						19
80					0,0124	

$A=\left(\frac{Ba+Ca}{2}\right)J$		$A=\left(\frac{Ba+Ca}{2}\right)Br$		$A=\left(\frac{Ba+Ca}{2}\right)Cl$	
	$m=SrJ$		$m=SrBr$		$m=SrCl$	
10	+ 0,0011		+ 0,0019		+ 0,0011	
		7		23		11
20	0,0018		0,0042		0,0022	
		5		18		8
30	0,0023		0,0060		0,0030	
		1		14		7
40	0,0024		0,0074		0,0037	
		1		18		
50	0,0025		0,0092			
		3		17		
60	0,0028		0,0109			
		6		17		
70	0,0034		0,0126			

$A=\left(\frac{Li+Ca}{2}\right)J$		$A=\left(\frac{Li+Ca}{2}\right)Br$		$A=\left(\frac{Li+Ca}{2}\right)Cl$	
	$m=MgJ$		$m=MgBr$		$m=MgCl$	
10	+ 0,0065		+ 0,0055		+ 0,0055	
		51		46		53
20	0,0116		0,0101		0,0108	
		46		44		49
30	0,0162		0,0145		0,0157	
		36		36		45
40	0,0198		0,0181		0,0202	
		36		30		44
50	0,0234		0,0211		0,0246	
		33		30		40
60	0,0267		0,0241		0,0286	
		29		26		34
70	0,0296		0,0267		0,0320	
		19		23		30
80	0,0315		0,0290		0,0350	
				24		29
90			0,0314		0,0379	
						29
100					0,0408	

Atome	$A=\left(\frac{Na+Sr}{2}\right)J$ $m=\overline{ZnJ}$	Diff.	$A=\left(\frac{Na+Sr}{2}\right)Br$ $m=\overline{ZnBr}$	Diff.	$A=\left(\frac{Na+Sr}{2}\right)Cl$ $m=\overline{ZnCl}$	
10	+ 0,0059		+ 0,0080		+ 0,0050	
		35		47		33
20	0,0094		0,0127		0,0083	
		24		22		14
30	0,0118		0,0149		0,0097	
		— 6		0		— 2
40	0,0112		0,0149		0,0095	
		— 5		— 1		0
50	0,0107		0,0148		0,0095	
		— 9		1		2
60	0,0098		0,0149		0,0097	
		—13		2		3
70	0,0085		0,0151		0,0100	
		—10				
80	0,0075					
		— 8				
90	0,0067					

Atome	$A=\left(\frac{K+Ba}{2}\right)J$ $m=\overline{CdJ}$	Diff.	$A=\left(\frac{Ka+Ba}{2}\right)Br$ $m=\overline{CdBr}$	Diff.	$A=\left(\frac{K+Ba}{2}\right)Cl$ $m=\overline{CdCl}$	
10	+ 0,0056		+ 0,0081		+ 0,0069	
		56		66		59
20	0,0112		0,0147		0,0128	
		53		64		61
30	0,0165		0,0211		0,0189	
		49		62		56
40	0,0214		0,0273		0,0245	
		48		63		
50	0,0262		0,0336			
		46				
60	0,0308					

Wie man aus den in vorstehender Tabelle angeführten Differenzen [1]) ersieht, sind die Aenderungen, welche die Modification des mittleren Volums durch Aenderungen der Concentration erleidet, äufserst mannigfaltig und die Verhältnisse, welche man für irgend einen Concentrationsgrad beobachtet, können ganz andere seyn, sobald man bei dem Vergleiche einen anderen Concentrationsgrad wählt. Um

1) Die Differenzen nehmen meist regelmäfsig ab und nur in den Fällen, wo eins der drei Atome ZnCl, ZnBr oder ZnJ auftritt, unterscheiden sie sich wesentlich von allen andern. Es ist diefs bedingt durch den so aufsergewöhnlichen Verlauf, wodurch sich die Volumscurven dieser drei Salzatome vor allen andern auszeichnen und welcher eine Erscheinung hervorruft, die bisher noch nie beobachtet wurde, dafs nämlich die anfänglich positive Modification bei steigender Concentration in die negative übergeht. Es ist jedenfalls merkwürdig, dafs von den neun in dem eingangs angeführten Schema zusammengestellten Atomen es gerade das mittelste ist, welches diese so auffallende Verhältnisse darbietet.

die Aenderungen, welche diese Verhältnisse durch Aenderungen der Concentration erleiden können, möglichst anschaulich zu machen, habe ich die vorstehende Tabelle hiernächst in einer anderen Form wiedergegeben. Eine jede der drei nachfolgenden Tabellen hat an ihrer Spitze ein Schema von neun Mittelgliedern, aus denen man die zugehörigen, in der vorigen Tabelle angeführten, Seitenglieder entnehmen kann. Darunter folgen an den entsprechenden Stellen die Modificationen des mittleren Volums, wie sie sich für den überschriebenen Concentrationsgrad berechnen und zwar in *Zehntausendstel des ursprünglichen Volums*.

I.

K Br	Na Br	Li Br
Cd Br	Zn Br	Mg Br
Ba Br	Sr Br	Ca Br

10			50		
+13	+22	− 4	+42	+70	−11
+18	+41	+ 1	+43	+113	+ 4
−15	+ 9	+17		+63	+78

20			60		
+19	+34	− 8		+82	−12
+23	+68	+ 2	+53	+131	+ 4
−27	+25	+34		+76	+93

30			70		
+23	+46	− 8			−12
+28	+82	+ 6		+149	+ 5
−38	+39	+50			+108

40			80		
+30	+57	−10			−13
+34	+98	+ 7		+166	
−55	+49	+64			

II.		
NaJ	NaBr	NaCl
ZnJ	ZnBr	ZnCl
SrJ	SrBr	SrCl
10		
+46	+68	+54
+27	+56	+21
+11	+19	+11
20		
+90	+124	+101
+34	+ 86	+ 27
+18	+ 42	+ 22
30		
+130	+175	+144
+ 31	+ 86	+ 12
+ 23	+ 60	+ 30
40		
+164	+219	+183
0	+ 68	— 19
+ 24	+ 74	+ 37
50		
+193	+258	+217
— 33	+ 49	— 51
+ 25	+ 92	

III.		
MgJ	MgBr	MgCl
ZnJ	ZnBr	ZnCl
CdJ	CdBr	CdCl
10		
+ 65	+ 55	+ 55
+ 59	+ 80	+ 50
+ 56	+ 81	+ 69
20		
+116	+101	+108
+ 94	+127	+ 83
+112	+147	+128
30		
+162	+145	+157
+118	+149	+ 97
+165	+211	+189
40		
+198	+181	+202
+112	+149	+ 95
+214	+273	
50		
+234	+211	+246
+107	+148	+ 95
+262	+336	

II.

Na J	Na Br	Na Cl
Zn J	Zn Br	Zn Cl
Sr J	Sr Br	Sr Cl

60

+219		
— 67	+ 30	— 80
+ 28	+109	

70

+243		
	+ 13	—105
+ 34	+126	

80

+264		
		—124

III.

Mg J	Mg Br	Mg Cl
Zn J	Zn Br	Zn Cl
Cd J	Cd Br	Cd Cl

60

+267	+241	+286
+ 98	+149	+ 97

70

+296	+267	+320
+ 85	+151	+100

80

+315	+290	+350
+ 75		

In der ersten der drei vorstehenden Tabellen ist die Aufeinanderfolge der Zahlenwerthe bei jedem bisher bekannten Concentrationsgrade immer dieselbe, mag man nun die drei Glieder irgend einer horizontalen oder die irgend einer verticalen Columne miteinander vergleichen. In der ersten und zweiten horizontalen Columne folgen überdiefs die Werthe in derselben Weise aufeinander und beobachtet man dasselbe Verhalten auch in der ersten und zweiten verticalen Columne. Der gröfste von allen Werthen fällt auf die Mitte, auf Zn Br, und die beiden kleinsten Werthe fallen auf das leichteste (Li Br) und das schwerste (Ba Br) Mittelglied.

Die zweite Tabelle zeigt auch noch bei jedem bisher bekannten Concentrationsgrade ein und dieselbe Aufeinanderfolge der Zahlenwerthe in ihren horizontalen Columnen und haben diese drei Columnen überdiefs noch das miteinander gemein, dafs der *gröfste* Werth stets auf die Mitte (NaBr, ZnBr, SrBr) fällt. Die erste und dritte horizontale Columne unterscheiden sich ferner durch die Aufeinanderfolge der Zahlenwerthe überhaupt gar nicht, sondern blofs dadurch, dafs die Zahlenwerthe der ersten Columne die der dritten bei weitem überragen. In den verticalen Columnen der zweiten Tabelle wird dagegen die anfängliche Aufeinanderfolge der Zahlenwerthe bei gröfseren Concentrationsgraden gestört. Diese Störung hat indefs den merkwürdigen Umstand zur Folge, dafs von bestimmten Concentrationsgraden an die Aufeinanderfolge der Zahlenwerthe in allen drei verticalen Columnen dieselbe wird und es auch bleibt, so weit wenigstens die Versuche reichen. Diese Aufeinanderfolge stellt sich in der dritten verticalen Columne schon ein zwischen den Concentrationsgraden 20 und 30, in der zweiten und ersten Columne dagegen erst zwischen den Concentrationsgraden 30 und 40, wie diefs die vorstehenden Zahlenwerthe ausweisen. Bei dem Concentrationsgrade 40 und jedem höheren fällt also allgemein in jeder verticalen Columne der *kleinste* Zahlenwerth auf die Mitte, gerade entgegengesetzt also dem, was soeben hinsichtlich der horizontalen Columnen angeführt wurde, in welchen bei jedem bisher bekannten Concentrationsgrade der *gröfste* Zahlenwerth auf die Mitte fällt. Was nun die Seitenglieder anlangt, so fällt in den horizontalen wie in den verticalen Columnen der gröfste der beiden Zahlenwerthe auf das leichteste, der kleinste auf das schwerste Seitenglied und findet man unter den sechs Fällen nur eine Ausnahme, nämlich in der zweiten horizontalen Columne. Den vorliegenden Zahlen zufolge ist es indefs nicht ganz unwahrscheinlich, dafs auch diese Ausnahme bei höheren Concentrationsgraden verschwinden wird.

Geht man nun zur dritten Tabelle über, so zeigt die

dritte horizontale Columne bei allen Concentrationsgraden die anfängliche Aufeinanderfolge der Zahlenwerthe und gilt genau dasselbe auch von der dritten verticalen Columne. Diese Aufeinanderfolge stellt sich bei den beiden anderen Columnen erst bei wachsender Concentration ein, bei der zweiten verticalen Columne zwischen den Concentrationsgraden 30 und 40, bei der ersten verticalen Columne zwischen den Concentrationsgraden 20 und 30, bei der zweiten horizontalen Columne zwischen den Concentrationsgraden 60 und 70, bei der ersten horizontalen Columne zwischen den Concentrationsgraden 30 und 40, hier indefs nur hinsichtlich der beiden Seitenglieder, aber noch nicht hinsichtlich des Mittelgliedes. Sieht man ab von diesem vereinzelten Falle, so zeigt also auch die dritte Tabelle bei dem Concentrationsgrade 70 und den höheren ganz einfache Verhältnisse. Es fällt nämlich alsdann in den verticalen Columnen der *kleinste* und in den horizontalen Columnen der *gröfste* Werth auf das Mittelglied; von den beiden anderen Werthen fällt in den verticalen, wie in den horizontalen Columnen der kleinste auf das erste und der gröfste auf das dritte Glied. Von bestimmten Concentrationsgraden an unterscheidet sich also die dritte Tabelle von der zweiten hinsichtlich der Mittelglieder der horizontalen und verticalen Columnen gar nicht, hinsichtlich der Seitenglieder der horizontalen Columnen auch nicht, sondern blofs hinsichtlich der Seitenglieder der verticalen Columnen.

Es scheint also, wenn man das Vorangehende kurz zusammenfafst, dafs die einfachen Verhältnisse, welche bei niederen Concentrationsgraden vielleicht nur durch die überwiegende Wassermenge getrübt sind, in dem Maafse deutlicher hervortreten, als diese Wassermasse bei gesteigerter Concentration mehr und mehr zurücktritt. Sie würden jedenfalls am deutlichsten hervortreten, wenn man das Wasser gänzlich eliminirte und die wasserfreien Salzatome mit einander verglich. Abgesehen von den grofsen Schwierigkeiten, die sich indefs einem solchen Versuche entgegenstellen, tritt hier überdiefs noch bei weitem störender der

Umstand ein, dafs ein und dieselbe feste Materie je nach der vorangegangenen Behandlung so ganz verschiedene Dichtigkeitszustände darbieten kann, wodurch denn ein jeder derartiger Vergleich äufserst erschwert wird. Ich begnüge mich daher einstweilen damit, die Modification des mittlern Volums nur insoweit geschildert zu haben, als sie der Wassermasse sich mittheilt, innerhalb welcher sie vor sich geht, und kann diefs um so mehr, da auch selbst dann noch, wenn diese Wassermenge gänzlich eliminirt wäre, eine Masse zurückbleibt, auf welche, wie auf jene, die Gröfse der Modification sich vertheilt. Diese Masse (Cl, Br, J) tritt in den beiden Tabellen II und III gegen die andere, welche die Modification des mittlern Volums eigentlich hervorruft, in dem Grade zurück, als man sich von den beiden Ecken resp. NaJ und MgJ in horizontaler oder verticaler Columne entfernt. Je weniger nun die bei Berechnung der Modification zu Grunde gelegten Massen sich als chemisch verschieden darbieten, um so mehr wird auch die Modification in dem Grade wachsen, als die Masse, auf die sie sich vertheilt, zurücktritt. Es ist daher wohl erklärlich, dafs in Tabelle III die Werthe der vier Ecken in dem Grade abnehmen, in welchem die modificirte Masse gegen die nicht modificirte Masse zurücktritt, ohne dafs dieselbe Regelmäfsigkeit sich auch auf die dazwischen liegenden Werthe erstreckt, da diese Werthe Massen betreffen, welche schon mehr modificirt sind als jene und dafs ferner in Tabelle II die Regelmäfsigkeiten der Tabelle III sich nur in den horizontalen nicht aber in den verticalen Columnen wiederfinden, da die modificirten Massen der verticalen Columnen der Tabelle II Li + K und Ca + Ba sich mehr unterscheiden als die modificirten Massen Li + Ca und K + Ba der Tabelle III. Wie verschieden überhaupt die Modification ist je nachdem die beiden sich vereinigenden Seitenglieder bei übrigens nahezu gleichem Gesammtgewichte mehr oder weniger verschieden sind, geht am deutlichsten aus den zweiten horizontalen Columnen der Tabellen II und III hervor. Das Gesammtgewicht von Mg + Cd ist 68, das

von Na + Sr ist 66,8 und wenn in beiden Fällen aus der Vereinigung der Seitenglieder ein und dasselbe Atom, nämlich Zn, entsteht so mufs es ganz natürlich erscheinen, dafs im letzteren Falle die Modification immer gröfser ist als im ersteren.

Was nun die Modification der mittlern Löslichkeit anlangt, so mag das Wenige, was meine bisherigen Versuche mich hinsichtlich der Mitteltriade gelehrt haben, hier kurz erwähnt werden.

Die Löslichkeitscurven der Atome Cd J und Cd Cl verhalten sich hinsichtlich ihres Verlaufs ähnlich den Curven Li J und Ca J. Die relative Lage der Curven Cd J und Cd Cl ist von 0 bis 100° und wahrscheinlich auch noch weit über dieses Intervall hinaus ebenso wie die der Curven Ca J und Ca Cl von ungefähr 30 bis 40° oder wie die der Curven Li J und Li Cl von unbestimmt unter 0 bis ungefähr 60°. Die relative Lage der Curven Cd J und Cd Cl ist also gerade entgegengesetzt derjenigen, welche die homologen Curven Ba J und Ba Cl oder K J und K Cl zeigen. Die beiden Curven Cd J und Cd Cl werden also eine sehr verschiedene Lage einnehmen zu der Curve, welche die Mitte zwischen den beiden Curven K J und Ba J einerseits und den Curven K Cl und Ba Cl anderseits bezeichnen. Die Modificationnen der mittleren Löslichkeit berechnen sich daher auch für die Chlorüre und Jodüre sehr verschieden und zwar, wenn man neben den früher angeführten noch die im Anhange gegebenen Werthe zu Grunde legt, wie folgt:

$h = \left(\frac{K+Ba}{2}\right) J$ $\qquad \frac{h-m}{h} = -0{,}88$ bei 20° C.

$m = CdJ$ $\qquad\qquad 0{,}96$ » 40

$\qquad\qquad 0{,}95$ » 60

$\qquad\qquad 0{,}95$ » 80

$\qquad\qquad 0{,}79$ » 100

und

$h = \left(\frac{K+Ba}{2}\right) Cl$	$\frac{h-m}{h} = +0{,}73$	bei 20° C.
$m = CdCl$	0,69	» 40
	0,65	» 60
	0,62	» 80
	0,60	» 100

Dafs, wie bei den früheren Zusammenstellungen, so auch hier die Bromüre das verbindende Glied bilden werden, ist gar nicht unwahrscheinlich. Dafs ferner bei irgend einer constanten Temperatur, wie etwa bei 19°,5 C., die Modificationen der beiden mittlern Eigenschaften, des mittlern Volums nämlich und der mittlern Löslichkeit bald gleiche, bald verschiedene Vorzeichen haben können, welche Erscheinung auch bereits früher (Bd. 103 S. 63) hervorgehoben wurde, wird man auch hier wieder bestätigt finden.

Es mögen hier schliefslich noch die hauptsächlichsten Resultate zusammengestellt werden, wohin diese und einzelne andere ihr unmittelbar vorangehende Arbeiten führen:

Wenn die Seitenglieder einer Triade oder wenn homologe Glieder conjugirter Seitentriaden zum Mittelgliede sich vereinigen, so kann die physikalische Eigenschaft des Mittelgliedes bei irgend einer Temperatur zufällig genau das arithmetische Mittel aus den physikalischen Eigenschaften der Seitenglieder seyn; in der Regel ist sie es aber nicht, sondern erleidet eine Modification. Diese Modification ändert sich mit der Temperatur, sie erreicht ein negatives und positives Maximum, welche beide Maxima natürlich durch *den* Punkt verbunden sind, wo keine Modification eintritt. Diese drei Punkte, die beiden Maxima und der Uebergangspunkt, liegen nicht bei denselben Temperaturen, mag man nun *mehrere* Triaden hinsichtlich *einer* physikalischen Eigenschaft oder *eine* Triade hinsichtlich *mehrerer* physikalischer Eigenschaften vergleichen, und diefs ist die nächstliegende Ursache davon, dafs die Modificationen bei irgend einer constanten Temperatur, wie etwa bei 19°,5 C., so äufserst mannichfaltig sind. Der relative Abstand dieser drei Punkte scheint in einer gewis-

sen Beziehung zu stehen zu dem Grade, in welchem die Intensität der physikalischen Eigenschaften der beiden Seitenglieder von der Temperatur abhängig ist. Die vorstehenden allgemeinen Schlufsfolgerungen wurden alsdann (Bd. 99, S. 62 und Bd. 100, S. 416) auf eine Eigenschaft der Körper angewandt, deren Intensität bisher nur für die gewöhnliche Temperatur bekannt ist, nämlich auf *das relative Atomgewicht der sog. Elemente.* Es konnte diefs ganz füglich geschehen, nachdem gezeigt war, dafs bei dieser Temperatur, wie die mittlere Löslichkeit oder das mittlere Volum, so auch das mittlere Atomgewicht verschiedene Modificationen erleidet und zwar Modificationen, welche mitunter die Gränzen der Fehlerquellen bei weitem überschreiten [1]).

So waren denn die Atomgewichte der Glieder einer Triade und die der homologen Glieder conjugirter Triaden ebenso einfach und natürlich miteinander verknüpft, wie deren andere physikalische Eigenschaften. Die Prout'sche Theorie, dafs nämlich die Atomgewichte der sogenannten Elemente sämmtlich Multipla nach ganzen Zahlen von einer gewissen Grundzahl sind [2]), mufste verworfen werden, weil sie mit den entwickelten Ansichten ganz unvereinbar ist.

Die vorgetragene Anschauungsweise ist jedenfalls einfach, sie läfst die Atomgewichte unangetastet, nimmt sie mit allen möglichen Bruchtheilen genau wie das Experiment sie ergiebt und nimmt überdiefs, was meiner Ansicht nach nicht wenig für sie spricht, der Prout'schen Theorie allen Grund und Boden, einer von den gefährlichen Theorien, welche nur gar zu leicht dahin führen, dem Experimente weniger Zutrauen zu schenken, als es wirklich verdient. Sie lehrt

1) Die Atomgewichte, welche Hr. Dumas neuerdings (*Compt. rend. XLV*, 709) für Chlor, Brom und Jod gefunden hat, stimmen, wenn man davon absieht, dafs er das frühere Atomgewicht des Jods 127,1 durch 127 ersetzt, mit denen vollkommen überein, welche ich früher bei Berechnung des mittlern Atomgewichts zu Grunde gelegt habe. Diese Correction hat indefs keinen wesentlichen Einfluſs auf die Modification des mittlern Atomgewichts, sie wird nur von + 0,016 auf + 0,015 reducirt.

2) wenigstens bei einer constanten Temperatur.

endlich die Temperaturen kennen, bei welchen die sogenannten Elemente am ehesten zerlegt und wieder zusammengesetzt werden können, da dieſs jedenfalls die Temperaturen sind, bei denen die Modification der mittlern Eigenschaft ihr Minimum und Maximum erreicht.

Anhang.

Ehe ich die Resultate meiner Beobachtungen hier mittheile muſs ich noch einiges vorausschicken über das Atomgewicht, welches bei den nachfolgenden Rechnungen für Lithium zu Grunde gelegt wurde.

Bekanntlich wurde das Atomgewicht 6,5, welches Berzelius für das Lithium fand, in neuerer Zeit durch Mallet [1]) auf 6,95, also um nicht weniger als 7 Proc. erhöht. Ich hatte damals schon meine Versuche mit Zugrundlegung des Berzelius'schen Atomgewichts berechnet und fand mich nicht veranlaſst, das neue Atomgewicht einzuführen, weil der von Mallet eingeschlagene Weg mehrere Fehlerquellen einschlieſst, die alle das Atomgewicht erhöhen, weil ferner der von Mallet hervorgehobene Umstand, daſs alsdann das Atomgewicht des Natriums genau zwischen denen des Lithiums und des Kaliums in der Mitte steht, dem Vorangehenden zufolge durchaus nicht entscheiden kann und weil endlich die spätern Versuche von Troost [2]) wieder das ältere Berzelius'sche Atomgewicht 6,5 ergeben. Alle andern Atomgewichte, welche im Folgenden benutzt wurden, sind genau die in dem Jahresberichte von Liebig und Kopp für 1856 angeführten.

Die beobachteten specifischen Gewichte der Salzlösungen sind nun folgende:

Columne *A* enthält das chemische Zeichen des gelösten Salzes;

B das beobachtete specifische Gewicht der luftfreien Lösung bei 19°,5 C., das des luftfreien Wassers bei derselben Temperatur als Einheit gesetzt;

1) Jahresbericht für 1856. S. 327.

2) *Ann. de chim. et de phys.* (3) *LI pag.* 103.

C die Gewichtstheile des gelösten wasserfreien Salzes;
D die Atome des gelösten wasserfreien Salzes, das Gewicht des lösenden Wassers in beiden Fällen als 100 angenommen;
E das relative Volum der Lösung, das des lösenden Wassers als 100 angenommen:

A	*B*	*C*	*D*	*E*
Li Br	1,1173	18,3	21,1	105,83
	1,2267	37,8	43,7	112,36
	1,3366	60,2	69,6	119,88
	1,4405	84,1	97,3	127,82
	1,5424	110,2	127,4	136,30
Li J	1,1611	23,4	17,5	106,30
	1,3171	49,3	36,9	113,38
	1,4700	78,3	58,6	121,30
	1,6278	112,5	84,2	130,54
	1,7495	142,1	106,4	138,38
Mg Cl	1,0826	10,7	22,5	102,24
	1,1592	22,0	46,3	105,24
	1,2388	35,3	74,4	109,24
	1,3235	51,5	108,4	114,44
Zn Cl	1,1331	16,7	24,5	102,98
	1,2714	38,8	57,0	109,16
	1,3677	56,3	82,7	114,28
	1,5336	92,4	135,7	125,46
Cd Cl	1,1063	13,0	14,3	102,18
	1,2106	26,9	29,4	104,82
	1,3100	41,1	44,9	107,72
	1,4060	55,8	61,0	110,84
	1,5060	72,5	79,3	114,54
Mg Br	1,0965	12,2	13,3	102,32
	1,1864	24,5	26,6	104,92
	1,2811	38,3	41,7	107,98
	1,4386	64,2	69,8	114,14
	1,5693	88,6	96,3	120,20
Zn Br	1,1715	20,6	18,3	102,94
	1,3270	42,6	37,8	107,44
	1,6101	91,4	81,2	118,86
	1,8797	150,3	133,5	133,16
	2,1441	224,7	199,5	151,42
	2,3914	318,3	282,6	174,90

A	B	C	D	E
CdBr	1,2337	29,8	21,9	105,20
	1,4690	64,3	47,3	111,84
	1,6496	94,1	69,2	117,68
MgJ	1,1121	14,2	10,2	102,61
	1,2185	28,5	20,5	105,44
	1,3563	48,6	34,9	109,54
	1,4945	70,6	50,8	114,18
	1,6623	100,5	72,3	120,64
ZnJ	1,1715	21,5	13,4	103,68
	1,3486	46,4	29,0	108,52
	1,5780	85,0	53,2	117,24
	1,7815	126,3	79,1	127,04
	2,1853	232,0	145,3	151,92
CdJ	1,1681	21,4	11,7	103,92
	1,3286	43,7	23,9	108,18
	1,6139	88,5	48,4	116,82

In welcher Weise von den vorstehenden Salzen die beiden ersten, LiBr und LiJ, dargestellt wurden, ist bereits früher (Bd, 103. S, 57) angegeben. Die drei Magnesiasalze und auch das Chlorzink wurden durch Zersetzung der schwefelsauren Salze mit den entsprechenden Barytsalzen erhalten. Sowohl der Zinkvitriol als auch das Chlorbaryum wurden zweimal umkrystallisirt. Das Brom- und Jodbaryum war aus den in der früher (a. a. O.) beschriebenen Weise erhaltenen Säure und reiner kohlensauren Baryterde dargestellt. Die schwefelsaure Magnesia wurde in gröfserer Menge in der chemischen Fabrik des Hrn. Marquart aus einem krystallisch körnigen Magnesit dargestellt, welcher als wesentliche Verunreinigungen nur Thonerde und Eisen enthielt. Die erstere wurde ausgefällt und das letztere durch Glühen entfernt. Die Cadmiumsalze wurden dargestellt aus einem kohlensauren Cadmium, welches längere Zeit der Einwirkung von wässrigem kohlensaurem Ammoniak ausgesetzt war, um eine etwaige Verunreinigung von Zink zu entfernen; das Jodzink durch Sättigen der Jodwasserstoffsäure mit kohlensaurem Zinkoxyd. Das Bromzink habe ich nicht selbst dargestellt, sondern als Lauge von Hrn. Marquart

erhalten. Es war auch durch Sättigen der Säure mit dem kohlensauren Salze dargestellt und bis zum Krystallisiren concentrirt worden. Diese Krystalle enthielten noch die Schwefelsäure, welche sich bei der Darstellung der Bromwasserstoffsäure bildet (a. a. O.) und lieferten, als sie an der Luft zerflossen, die Lösung, welche ich bei meinen Versuchen benutzte und die merkwürdiger Weise keine Spur Schwefelsäure enthielt. Aller Zinkvitriol war als Krystallmasse auf dem Trichter zurückgeblieben. Die schwefelsauren Salze, welche zufolge der Bildungsweise die Brom- und Jodverbindungen begleiteten, wurden durch das entsprechende Barytsalz entfernt, jedoch nur bis auf einen kleinen Rest. Um diesen zu entfernen wurde noch etwas kohlensaure Baryterde im Ueberschufs zugesetzt. Die kohlensaure Baryterde zersetzt sich mit dem schwefelsauren Salze und der Ueberschufs vermag von allen hier untersuchten Salzen nur aus den Cadmiumsalzen das Cadmiumoxyd herauszufällen[1]). Bei den Cadmiumsalzen wurde daher keine kohlensaure Baryterde zugefügt, aus ihnen wurde die Schwefelsäure so viel als möglich durch Brom- oder Jodbaryum entfernt. Bei der Darstellung der sämmtlichen vorstehenden Salzlösungen war also ein kleiner Ueberschufs an kohlensaurem Salze vorhanden. Diese in Wasser schwerlöslichen kohlensauren Salze lösen sich etwas mehr in den Salzlösungen und um so mehr, je concentrirter diese sind, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man die sehr concentrirten Lösungen mit einem Ueberschufs an kohlensaurem Salze kocht und darauf verdünnt. Ich habe diesen Fehler wenigstens theilweise eliminirt dadurch, dafs ich, die Lithiumsalze abgerechnet, sehr verdünnte Lösungen darstellte, deren spec. Gewicht zunächst bestimmte und diese dann mehr und mehr concentrirte. Da die vorstehenden Salzlösungen sämmtlich in der Weise analysirt wurden, dafs der Gehalt an wasserfreiem Salze aus dem Gewichte des mittelst Silbersolution präcipitirten und geschmolzenen Chlor- Brom- oder Jodsilbers berechnet wurde, so kann jene constante Fehlerquelle die Ursache davon seyn, dafs die sämmtlichen vorstehenden

1) H. Rose, analytische Chemie.

spec. Gewichte etwas zu hoch, die daraus berechneten Volumina etwas zu klein sind. Es wird daher nothwendig seyn, sowohl das Maximum dieser Fehlerquelle kennen zu lernen als auch zuzusehen, in wie weit dieses das Endresultat der vorliegenden Untersuchungen stören kann.

Da es nicht unwahrscheinlich ist, dafs die in Wasser schwerlöslichen kohlensauren Salze sich in den Salzlösungen in einem ähnlichen Verhältnisse auflösen, wie im Wasser, so kann man wohl annehmen, dafs die Lösungen der Lithiumsalze das meiste kohlensaure Salz enthalten, dafs also hier die Fehlerquelle am gröfsten ist. Ich habe daher die Volumscurven der Lösungen von LiBr und LiJ noch einmal bestimmt ohne die concentrirten Lösungen vorher zu verdünnen, und habe den Gehalt derselben an wasserfreiem Salze aus dem Gewichte des schwefelsauren Salzes berechnet, welches durch Zusetzen reiner Schwefelsäure, Abdampfen und Glühen erhalten wurde. In dieser Weise habe ich folgende Resultate erhalten:

A	*B*	*C*	*D*	*E*
LiBr	1,1414	22,8	26,4	107,60
	1,2713	47,8	55,3	116,28
	1,4075	78,7	91,0	126,96
	1,5358	112,7	130,3	138,52
	1,6554	149,8	173,2	150,90
LiJ	1,1756	25,9	19,4	107,12
	1,3507	56,5	42,3	115,84
	1,5319	93,4	69,9	126,26
	1,6709	125,9	94,3	135,22

Aus diesen Beobachtungen lassen sich durch graphische Interpolation folgende Interpolationswerthe ableiten [1]).

Atome	LiBr	Diff.	LiJ	Diff.
10	102,80		103,60	
		290		372
20	105,70		107,32	
		296		378
30	108,66		111,10	
		298		380
40	111,64		114,90	
		300		380
50	114,64		118,70	
		300		38
60	117,64		122,5	
		30		38
70	120,6		126,3	
		30		37
80	123,6		130,0	
		30		36
90	126,6		133,6	
		30		
100	129,6			

1) Die Volumina, welche die beiden Analysirmethoden ergeben, nähern

Was nun zunächst die vorstehenden Differenzen anlangt, so unterscheidet sich die Curve LiJ wesentlich von allen vorangehenden, indem sie von einem gewissen Concentrationsgrade an abnehmen. Es ist dieſs ohne Zweifel nur die Folge der Verunreinigung mit kohlensaurem Lithon [1]), welch letztere bei dieser Analysirmethode störender auftritt als bei der anderen. Die wirklichen Volumina müssen, wie man sich durch Rechnung leicht überzeugen kann, zwischen den beiden Gränzwerthen liegen, welche die beiden Analysirmethoden ergeben. Es mögen daher hier die Werthe $\frac{h-m}{h}$ angeführt werden, welche man erhält, wenn man für Brom- und Jodlithium die Volumina, welche die letztere Analysirmethode ergeben hat, zu Grunde legt:

	$h = \mathrm{Li}\left(\frac{\mathrm{Cl}+\mathrm{J}}{2}\right)$		$h = \left(\frac{\mathrm{K}+\mathrm{Li}}{2}\right)\mathrm{J}$		$h = \left(\frac{\mathrm{K}+\mathrm{Li}}{2}\right)\mathrm{Br}$	
Atome	$m = \mathrm{LiBr}$	Diff.	$m = \mathrm{NaJ}$	Diff.	$m = \mathrm{NaBr}$	Diff.
10	— 0,0010		+ 0,0044		+ 0,0070	
		5		50		60
20	0,0015		0,0094		0,0130	
		5		46		55
30	0,0020		0,0140		0,0185	
		3		42		49
40	0,0023		0,0182		0,0234	
		5		35		44
50	0,0028		0,0217		0,0278	
		4		31		
60	0,0032		0,0248			
		— 1		29		
70	0,0031		0,0277			
		6		23		
80	0,0037		0,0300			
		11				
90	0,0048					

	$h = \left(\frac{\mathrm{Li}+\mathrm{Ca}}{2}\right)\mathrm{J}$		$h = \left(\frac{\mathrm{Li}+\mathrm{Ca}}{2}\right)\mathrm{Br}$	
	$m = \underline{\underline{\mathrm{Mg}}}\mathrm{J}$		$m = \underline{\underline{\mathrm{Mg}}}\mathrm{Br}$	
10	+ 0,0063		+ 0,0057	
		57		50
20	0,0120		0,0107	
		53		49
30	0,0173		0,0156	
		43		41
40	0,0216		0,0197	
		42		35
50	0,0258		0,0232	
		39		34
60	0,0297		0,0266	
		34		29
70	0,0331		0,0295	
		22		28
80	0,0353		0,0323	
				26
90			0,0349	

sich, wenn man bei den Rechnungen für Lithium das höhere Atomgewicht 5,95 zu Grunde legt; doch kann dieser Umstand allein noch nicht dazu zwingen, dieses Atomgewicht als das richtige anzunehmen.

1) Diese Erklärungsweise macht die frühere (Bd. 103, S. 62) überflüssig.

Wenn man diese Gränzwerthe mit den frühern combinirt, so erhält man die folgenden Mittelwerthe:

	$k = \mathrm{Li}\left(\frac{\mathrm{Cl}+\mathrm{J}}{2}\right)$		$k = \left(\frac{\mathrm{K}+\mathrm{Li}}{2}\right)\mathrm{J}$		$k = \left(\frac{\mathrm{K}+\mathrm{Li}}{2}\right)\mathrm{Br}$	
Atome	$m = \mathrm{Li\,Br}$	Diff.	$m = \mathrm{Na\,J}$	Diff.	$m = \mathrm{Na\,Br}$	Diff.
10	— 0,0007		+ 0,0045		+ 0,0069	
		4		47		58
20	0,0011		0,0092		0,0127	
		3		43		53
30	0,0014		0,0135		0,0180	
		2		38		47
40	0,0016		0,0173		0,0227	
		3		32		41
50	0,0019		0,0205		0,0268	
		3		28		
60	0,0022		0,0233			
		0		27		
70	0,0022		0,0260			
		3		22		
80	0,0025		0,0282			
		7				
90	0,0032					

	$k = \left(\frac{\mathrm{Li}+\mathrm{Ca}}{2}\right)\mathrm{J}$		$k = \left(\frac{\mathrm{Li}+\mathrm{Ca}}{2}\right)\mathrm{Br}$	
	$m = \underline{\mathrm{Mg\,J}}$		$m = \underline{\mathrm{Mg\,Br}}$	
10	+ 0,0064		+ 0,0056	
		54		48
20	0,0118		0,0104	
		49		47
30	0,0167		0,0151	
		40		38
40	0,0207		0,0189	
		39		33
50	0,0246		0,0222	
		36		32
60	0,0282		0,0254	
		31		27
70	0,0313		0,0281	
		21		26
80	0,0334		0,0307	
				24
90			0,0331	

Wenn diese Mittelwerthe, die sich jedenfalls von den wirklichen nur wenig unterscheiden können, in den Tabellen I, II und III substituirt werden, so bleiben die angeführten Resultate dieselben nur die Concentrationsgrade, bei welchen in der dritten Tabelle die regelmäfsige Aufeinanderfolge sich einstellt, werden etwas verschieden, nämlich in der zweiten verticalen Columne 20 bis 30 statt 30 bis 40, in der ersten verticalen Columne 30 bis 40 statt 20 bis 30 und in der ersten horizontalen Columne 50 statt 30 bis 40. Die durch diese Correction nothwendig gewordenen Aenderungen sind also eigentlich nur untergeordneter Natur; sie werden jedenfalls noch mehr zurücktreten, wenn auch

bei den Magnesiasalzen die entsprechende Correction eingeführt wird. Die Werthe der Tabellen I, II und III bleiben daher füglich unverändert, wenigstens so lange, bis die constante Fehlerquelle nicht blofs aus einzelnen, sondern aus allen Lösungen entfernt ist, sey es nun durch ein Fällungsmittel wie etwa absoluten Alkohol, sey es durch Krystallisation oder in sonst einer Weise.

Eine andere Fehlerquelle, welche indefs nur bei den unbeständigen Jodverbindungen auftritt, ist deren Gehalt an Schwefelwasserstoff, wodurch der Zersetzung vorgebeugt wird. Es ist indefs nicht schwer, beim Auskochen der Salzlösungen den Moment zu treffen, wo nur noch sehr wenig Schwefelwasserstoff in der Lösung ist, aber doch noch genug, um bis zu Ende des Versuchs die Zersetzung zu verhindern. Um das Maximum dieser Fehlerquelle kennen zu lernen, wurde eine Lösung von Jodzink untersucht, welche etwas mehr als gewöhnlich Schwefelwasserstoff enthielt und welche folgendes Resultat lieferte:

A	*B*	*C*	*D*	*E*
Zn J	1,1614	20,1	12,6	103,38

Diese Fehlerquelle kann also wohl hinreichend eliminirt werden.

Es folgen hiernächst noch die Gewichtstheile Wasser, welche ein Gewichtstheil oder ein Atom der überschriebenen wasserfreien Salze bei den nebenstehenden Temperaturen zur Lösung bedarf. Die Bestimmungen geschahen in der Weise, dafs die bei höherer Temperatur gesättigte Lösung bis auf den gewünschten Temperaturgrad erkaltet und mit den unterdefs abgesetzten Krystallen noch während einer Stunde unter lebhaftem Schütteln bei dieser Temperatur erhalten wurde; bei dieser Behandlungsweise bleibt indefs die Lösung von Chlorcadmium noch etwas übersättigt und sollen die nöthigen Correctionen später mitgetheilt werden.

	Cd J			Cd Cl		
	1 Gew.	1 Atom	Diff.	1 Gew.	1 Atom	Diff.
20° C.	1,08	1,97		0,71	0,65	
			13			
40	1,00	1,84		0,72	0,66	
			13			0
60	0,93	1,71		0,72	0,66	
			13			2
80	0,86	1,58		0,70	0,64	
			20			3
100	0,75	1,38		0,67	0,61	

Die Lösungen wurden analysirt wie bei der Bestimmung der Volumina.

VIII. *Bemerkungen zu meinen elektrolytischen Untersuchungen; von G. Wiedemann.*

Im Januarheft dieser Annalen ist ein Aufsatz des Hrn. Hittorf erschienen, in welchem er die experimentellen Arbeiten und theoretischen Ansichten der Physiker, welche in neuerer Zeit Untersuchungen über die Elektrolyse angestellt haben, mehr oder weniger streng kritisirt. Hierbei ist auch meiner Abhandlung über denselben Gegenstand gedacht worden. Da mich andere Arbeiten für die nächste Zeit an der Fortsetzung meiner elektrolytischen Untersuchungen hindern, sey es mir gestattet, in Bezug auf die Unvollkommenheiten, die Hr. Hittorf bei meinem Verfahren dem seinigen gegenüber auszusetzen hat, schon jetzt einige Worte zu erwidern und hierbei einige in meinem Aufsatz nicht ganz klar ausgesprochene und deshalb wohl nicht ganz richtig aufgefafste Aeufserungen zu besprechen.

Hr. Hittorf glaubt nicht, dafs seine Apparate durch bessere und genauere ersetzt werden können. Ich wage nicht dasselbe von dem von mir construirten Apparate zu behaupten, glaube indefs auch nicht, dafs derselbe die Fehlerquellen enthält, die Hr. Hittorf ihm zuschreiben möchte.

Mein Apparat bestand aus zwei Gläsern, in denen 2 för-

mige Röhren standen, die oben durch einen Kautschukschlauch verbunden waren und so heberartig beide Gefäfse mit einander vereinten. In letzteren befanden sich aufserdem die Elektroden. Wird in dem einen Gefäfs während der Elektrolyse die Lösung leichter, so vermehrt sich durch den hydrostatischen Druck das Volumen derselben. Diese Vermehrung hat keinen Einflufs auf das Resultat, wenn die Volumzunahme nur durch Zuströmen von unveränderter Lösung von der andern Seite her bedingt wird. Es darf also in dem vom Kautschukrohr gebildeten Theil des Heberrohrs, wo nach der Elektrolyse die Lösungen beider Gefäfse getrennt werden, die Lösung sich in Concentration und Zusammensetzung nicht ändern. Hr. Hittorf meint nun, dafs, wenn während der Elektrolyse die Lösung in dem einen Gefäfs und dem darin stehenden Rohre leichter wird, nach der Theorie des Hebers auch die obere Biegung des Rohres nicht den Uebergang der leichteren Lösung zur Trennungsstelle beider Röhren im Kautschukrohr verhindere. Diefs würde in der That statthaben, wenn die nach der Elektrolyse eintretende Verschiedenheit der Dichtigkeit der Lösung in beiden Gefäfsen und ihren Röhren sehr bedeutend wäre. Indefs beruht die Anwendung dieser Vorstellung auf den vorliegenden Fall wohl auf einem Mifsverständnifs, welches die Beschreibung des folgenden schon früher angestellten und jetzt wiederholten Versuchs beseitigen möchte.

Der Apparat wurde mit einer schwach-alkalischen Lösung von schwefelsaurem Natron gefüllt, die mit etwas Lackmustinctur gebläut war. In das eine Gefäfs wurde nun vorsichtig verdünnte Schwefelsäure gegossen, so dafs sich die Lösung hierdurch mehr verdünnte, als es bei den Elektrolysen geschah. Die dabei entstehende Röthung erstreckte sich bis etwa $\frac{1}{2}$ Zoll über den unteren Rand des im Gefäfs stehenden Rohres. Nach 24 Stunden war die Röthung noch lange nicht bis in das Rohr hinein fortgeschritten. Nun wurde die Lösung umgerührt, dafs ein Theil der specifisch leichteren sauren Lösung in das Rohr eindrang. Die Lösung in demselben röthete sich dadurch. Hierbei stieg die Lösung

im anderen Gefäfs, indefs ging die Röthung doch nicht viel in den gegen das Kautschukrohr hin nach unten gebogenen Theil des Rohres und auch nach 24 Stunden war sie nicht um die zweite untere Biegung des Rohres herum vorgeschritten, also noch lange nicht in das Kautschukrohr hineingelangt. Bei den Elektrolysen stand die Elektrode in dem Gefäfs, wo die Flüssigkeit leichter wurde, stets mit ihrem unteren Ende $\frac{1}{4}$ bis 1 Zoll über dem unteren Rand des in ihm befindlichen Rohres. Der Apparat war während der Elektrolyse an einem ruhigen Orte aufgestellt. Nach Beendigung derselben sah man sehr deutlich an der Brechung des Lichtes in der Lösung, dafs diese sich nicht bis zum unteren Rand des Rohres verdünnt hatte. Der beschriebene Versuch liefert zugleich einen neuen Beweis, dafs die Endosmose nicht der Grund der mit dem Apparat beobachteten Erscheinungen ist.

Für den Fall, wo die Lösung in dem einen Gefäfs durch die Elektrolyse schwerer wird, steigt ohnehin durch die dabei entstehende geringe Druckdifferenz die veränderte Lösung nie bis zur oberen Biegung des Rohres und so kann in dem einen und anderen Fall die Lösung sich im Kautschukschlauch nicht verändern.

Bei der Berechnung meiner Versuche nahm ich an, dafs sich das Volum der Lösung während der Elektrolyse nicht ändere, und berechnete einfach danach den Gehalt eines bestimmten Volums vor und nach der Zersetzung. Die kleinen Fehler, welche durch Vernachlässigung des Volumens des aus der Lösung verschwundenen oder hinzugekommenen Salzes oder Wassers entstehen, sind in den meisten Fällen ganz unbedeutend. Hr. Hittorf hat aber völlig Recht, dafs für die concentrirteren Lösungen von Säuren hiedurch wesentliche Aenderungen der Resultate entstehen. Die bei diesen gemachten Bestimmungen konnten bei meinem Verfahren ohnehin nicht genau seyn, da eine kleine Unsicherheit in der Kenntnifs des zur Bestimmung des Gehalts an Säure benutzten Volums der unveränderten Lösung bei der grofsen Quantität der Lösung in den Zersetzungsgefäfsen einen be-

deutenden Einfluſs hat. Indeſs auch die Art, nach der man mit Rücksicht hierauf die experimentellen Resultate berechnet, schlieſst eine Hypothese ein. Stellen wir uns z. B. vier Molecüle Schwefelsäurehydrat nach der Daniell'schen Theorie als $SO_4\,H$ zu beiden Seiten einer imaginären Scheidewand gruppirt dar, so werden sie vor der Elektrolyse liegen:

$$+\ \begin{matrix}SO_4 & SO_4\\ H & H\end{matrix}\ \Big|\ \begin{matrix}SO_4 & SO_4\\ H & H\end{matrix}\ -$$

Es sind nun verschiedene Möglichkeiten. Während der Elektrolyse kann entweder 1) SO_4 an den positiven Pol gehen und H an seiner Stelle liegen bleiben, oder 2) SO_4 liegen bleiben und H gegen den negativen Pol vorrücken, oder 3) beide um $\frac{1}{n}$ und $\frac{n-1}{n}$ des Abstandes zweier Molecüle zu einander fortschreiten. Betrachten wir nur die beiden ersten extremen Fälle, so gestaltet sich die Lagerung der Molecüle nach der Elektrolyse wie folgt:

nach 1) $+\ \begin{matrix}SO_4 & SO_4 & SO_4\\ H & H & \end{matrix}\ \Big|\ \begin{matrix}SO_4\\ H\ H\end{matrix}\ -$

nach 2) $+\ \begin{matrix} & SO_4 & SO_4\\ & & H\end{matrix}\ \Big|\ \begin{matrix}SO_4 & SO_4\\ H & H\ H\end{matrix}\ -$

In allen Fällen scheidet sich am positiven Pol 1 Aeq. $SO_3 + O$, am negativen Pol 1 Aeq. H ab. Im ersten Falle wird aber der durch die Elektrolyse verursachte Verlust an Wasser nur die Lösung am negativen Pol, im zweiten, die am positiven Pol treffen. Berechnet man die Versuche nach den verschiedenen Annahmen, so erhält man verschiedene Zahlenwerthe.

Es ist indeſs noch festzustellen, welche von den drei gemachten Annahmen die richtige sey. Wegen dieser Unsicherheit behielt ich die, wenn gleich hier nicht genügende Berechnungsmethode der übrigen Analysen auch bei den ohnehin nicht viel bedeutenden Elektrolysen der concentrirten Säuren bei.

Der Einfluſs der Concentration der Lösungen auf die Ueberführung ist in meiner Abhandlung erörtert und hervorgehoben worden. Sollte es aber nicht dennoch gestattet

seyn, einen mittleren Werth der Ueberführung in den Gränzen der Beobachtungen anzugeben?

In meinem Aufsatze hatte ich den Einfluſs erörtert, den die Abscheidung der freien Säure an der positiven Elektrode auf das Resultat der Elektrolysen ausüben kann, indem dadurch der Ort, wo aus dem im Wasser gelösten Salz die Säureabscheidung erfolgt, durch den elektrolytischen Proceſs selbst nach und nach gegen die negative Elektrode vorrückt und sich die Säure so allmählich bis zur letzteren hin ausbreitet. Ist dieser Fall eingetreten, so flieſst ein Theil des Stromes durch die freie Säure und es müssen sich die Zersetzungserscheinungen völlig ändern. Je nach der Länge der Flüssigkeitsschicht zwischen beiden Elektroden wird dieſs Verhältniſs bei gleicher Intensität des zersetzenden Stromes früher oder später eintreten. Man wird daher im vorliegenden Falle bei Anwendung verschiedener Apparate verschiedene Resultate bei der Elektrolyse desselben Salzes erhalten können, während gleichzeitig in dem in dem Stromkreis eingeschlossenen Voltameter gleiche Quantitäten Knallgas oder Kupfer (Silber) abgeschieden werden. Dasselbe, was von der Ausbreitung der freien Säure vom positiven Pol aus gesagt ist, gilt von der Ausbreitung des bei der Elektrolyse der Alkalisalze an der negativen Elektrode sich abscheidenden Alkalis. Wie schnell übrigens die Ausbreitung der an den Polen abgeschiedenen Substanzen stattfindet, zeigt auch der folgende Versuch. Die beiden Gläser, welche in meinem elektrolytischen Apparat dienten, wurden durch eingekittete Glaswände bis auf $\frac{1}{4}$ Zoll vom Boden in zwei Abtheilungen getheilt. Die Gläser wurden mit einer völlig neutralen Lösung von salpetersaurem Silberoxyd gefüllt. In der einen Abtheilung jedes Gefäſses befand sich ziemlich an der Oberfläche der Lösung eine mit Papier bekleidete Platinplatte. Die beiden anderen Abtheilungen der Gefäſse waren durch ein Π-förmiges Rohr verbunden, dessen beide Enden durch Thonwände verschlossen waren und nur bis zur Oberfläche der Lösung eintauchten. Das Rohr selbst war gleichfalls mit der Lösung gefüllt. Wurde der

Strom von 6 Daniell'schen Elementen durch den Apparat geleitet, so war nach 20 Stunden die an der positiven Elektrode abgeschiedene Säure schon um die Scheidewand des jene Elektrode enthaltenden Gefäfses und durch die Ω-Röhre mit ihren beiden Thonwänden, also auf einem Wege von etwa 6 bis 7 Zoll, in die eine Abtheilung des zweiten Gefäfses gelangt. Die Lösung um die negative Elektrode war noch neutral. Nach weiteren 24 Stunden war die Säure indefs auch bis zur letzteren vorgedrungen.

Es schien mir nicht unnütz, auf diese Wirkung der frei an den Polen abgeschiedenen Substanzen aufmerksam zu machen, da Hr. Hittorf sie noch nicht berücksichtigt hatte. Bei den mit so grofser Sorgfalt ausgeführten Versuchen des Hrn. Hittorf kann indefs aus dieser Ursache keine Aenderung seiner Zahlenresultate entstehen, da er sich überzeugte, dafs die an den Elektroden veränderten Lösungen am Ende der Elektrolyse noch durch eine Schicht unzersetzter Lösung von einander getrennt waren und offenbar in letzterer die Ueberführungen unverändert vor sich gingen.

Bei meinen Versuchen beabsichtigte ich weniger eine gröfsere Reihe genauer numerischer Resultate hinzustellen, als, wie man doch wohl aus der ganzen Anlage meiner Arbeit ersieht, einige genügend sichere Zahlenwerthe zu finden, um aus denselben eine freilich bisher vergeblich gesuchte einfache quantitative Beziehung zwischen den elektrolytischen und elektrisch-endosmotischen Vorgängen zu finden. Zu diesem Zwecke wählte ich Lösungen, bei denen sich die Elektrolysen möglichst einfach gestalten. Die Lösungen wurden nicht zu verdünnt genommen, Elektroden aus demselben Stoff gewählt, wie das in der Lösung befindliche Metall und die Dichtigkeit des Stromes klein gemacht, um den oben angedeuteten Fehlerquellen auf die sicherste Weise zu entgehen. Aus letzterem Grunde betrachtete ich die längere Dauer der Elektrolysen als keinen wesentlichen Nachtheil. Für den erwähnten Zweck erschien mir die Ausdehnung meiner Beobachtungen und die Genauigkeit meiner Analysen in den allermeisten Fällen genügend.

Schliefslich sey es mir bei dieser Gelegenheit erlaubt, noch einige Worte über die Vorstellung zu sagen, welche sich mir im Verlauf meiner Arbeit von den elektrolytischen Vorgängen gebildet hatte, bei der ich indefs freilich weit entfernt war, eine endgültige Begründung der so dunklen Verhältnisse der Elektrolyse hinstellen zu wollen. Die einfachste Annahme in Betreff der elektrolytischen Erscheinungen wäre die von Hrn. Hittorf gemachte, dafs sich die Ionen mit verschiedener Geschwindigkeit zu beiden Elektroden bewegen. Gegen diese Annahme sprach mir aber die schwer damit zu vereinigende Verschiedenheit der Resultate für die Wanderung der Ionen desselben Körpers in verschiedenen Lösungsmitteln, wie sie von Hrn. Hittorf zuerst gefunden worden ist. Gerade bei diesem Einfluſs des Lösungsmittels schien mir der Versuch sehr nahe liegend, da man neben der einfachen Abscheidung gleicher Aequivalente des Anions und Kations an den Elektroden zugleich eine Anhäufung des Salzes und, freilich nur bei Anwendung einer porösen Wand, auch der gesammten Lösung an der negativen Elektrode wahrnimmt, beide letztere Erscheinungen auf eine gemeinsame Ursache zurückzuführen.

Bei dem einfachen elektrolytischen Vorgang hatte ich mir vorgestellt, dafs nur das negative Ion des gelösten Körpers sich in der Richtung zum positiven Pol fortschiebe, das positive an seiner Stelle bleibe. Da nach den älteren allbekannten Versuchen von Ohm und nach den neuesten von Kohlrausch der galvanische Strom die ganze Lösung durchströmt, so glaube ich nicht mit meiner Darstellung die Ansicht hervorrufen zu können, als ob ich meinte, dafs die Wirkung hierbei vom Pol allein ausgehe und die Umlagerung der folgenden Atome anderen Ursachen zuzuschreiben sey. Es wirkt selbstverständlich der Strom auf die Ionen aller von ihm durchströmten Molecüle. Dafs ich nur eine Wanderung des negativen Ions annahm, war hauptsächlich aus der Beobachtung des Hrn. Schoenbein hergeleitet, dafs nur dieses Ion oder doch ein Bestandtheil desselben (z. B. der Sauerstoff) durch den galvanischen Strom in dem

activen Zustande ausgeschieden wird, während diefs bis jetzt mit Sicherheit an den elektro-positiven Bestandtheilen der Verbindungen noch nicht nachgewiesen ist. Es scheint mir diese Allotropisirung des einen Elementes für die elektrolytischen Vorgänge von der gröfsten Bedeutung und lange noch nicht genug beachtet. — Neben diesem rein elektrolytischen Vorgang nahm ich einen mechanischen an, durch den sowohl das Salz als das Lösungsmittel mit verschiedener Geschwindigkeit zum negativen Pol geführt werden. In Betreff der letzteren Fortführung kann man auch annehmen, dafs Salz und unveränderte Lösung zum negativen Pol wandern. Die Bewegung der unveränderten Lösung hatte ich früher durch mechanische Hülfsmittel, hydrostatische Druckkräfte, gemessen; ich glaube indefs nicht, dafs hierbei der galvanische Strom wie eine Druckkraft wirkt, welche die ganze Lösung als solche bewegt. Dagegen spricht schon die Schwierigkeit, dieselbe ohne Anwendung von porösen Wänden darzustellen. Ich werde mir erlauben, hierüber demnächst einige neue Beobachtungen mitzutheilen.

Welches nun auch der Vorgang bei der Elektrolyse sey, jedenfalls findet dabei eine Umlagerung der einzelnen Molecüle, eine Fortschiebung von Salztheilchen durch das Lösungsmittel oder ein verschieden schnelles Fortschreiten beider statt. Der Widerstand, den der galvanische Strom in der Lösung erfährt, mufs daher auch den bei diesen Bewegungen auftretenden Widerständen entsprechen. Es ist indefs hierbei durchaus nicht etwa der Reibungswiderstand gemeint, den die Lösung in einer sie durchschneidenden Thonwand erfährt, wenn auch zuerst die Gesetze der elektrischen Endosmose auf die vorliegende Betrachtung führten. Leider kennen wir noch nicht die Widerstände, die der Verschiebung eines Salztheilchens in einer Lösung entgegenstehen. Die einzige bekannte Function, welche dieser am nächsten kommt, ist der Widerstand, welcher bei Verschiebung von Theilchen einer Lösung an anderen Theilen derselben auftritt und durch die Bestimmung der Zähigkeit

der Lösung festgestellt worden ist [1]). Es war daher nur ein Vergleich zwischen dem Leitungswiderstand der Lösungen und ihrer Zähigkeit möglich. Das experimentelle Resultat, dafs in vielen Fällen sowohl bei verschieden concentrirten als verschieden warmen Lösungen beide Werthe nahezu proportional sind, während zugleich der Widerstand im umgekehrten Verhältnifs zur Concentration steht, rechtfertigt wohl diese, in meiner Abhandlung gemachte Vergleichung. Gewifs werden uns fernere Untersuchungen, namentlich wie die von Fick [2]) angestellten, über diese noch so dunklen Punkte weitere Aufschlüsse geben. Bis dahin schien es mir der Mühe nicht ganz unwerth, mit unseren jetzigen Kenntnissen wenigstens einen ersten, wenn auch der Natur der Sache nach unvollkommenen Versuch zu machen, von dieser Seite her eine Beziehung zwischen dem elektrischen Verhalten der Lösungen und ihren mechanischen Eigenschaften aufzusuchen.

Basel, den 17 März 1858.

1) Die Ableitung des Begriffs der Zähigkeit ist in meiner Abhandlung absichtlich nur ganz andeutungsweise gegeben, um nicht einer schon früher von mir angekündigten Arbeit des Hrn. Hagenbach vorzugreifen. Dort wird auch ausführlich der Punkte gedacht werden, die Hr. Verdet bei Gelegenheit seines Auszuges meiner Arbeit (*Ann. Ch. et Ph. Févr.* 1858) berührt.

2) Diese Ann. Bd. XCIV S. 59.

IX. *Untersuchungen über die Ausdehnung der Krystalle durch die Wärme; von F. Pfaff.*

Durch die auf so sinnreiche Weise angestellten Versuche Mitscherlich's über die Ausdehnung krystallisirter Körper durch die Wärme stellte sich zuerst das merkwürdige Gesetz heraus, dafs alle ungleichaxigen Krystalle sich auch ungleich nach verschiedenen Richtungen hin ausdehnen. Die Methode, deren sich Mitscherlich bei seinen Untersuchungen bediente, gab zunächst nur die relative Ausdehnung zwischen zwei verschiedenen Richtungen, da aus der Veränderung der Kantenwinkel eben nur die Differenz der Ausdehnung der Axen gefunden werden kann, und es mufste daher, um die absolute Ausdehnung zu erhalten, immer erst auf eine andere Weise noch diese für *eine* Richtung gefunden werden. Für den Kalkspath hat diefs Mitscherlich auf zwei verschiedene, einander controlirende Arten selbst gethan, einmal durch directe Messung einer Kalkspathplatte mittelst des Sphaerometers bei verschiedenen Temperaturen, und dann durch Bestimmung der Totalausdehnung der Kalkspathmasse. Mit Zugrundelegung seiner Messungen haben dann Neumann [1]) die relative und Ängstroem [2]) die absolute Ausdehnung des Gypses bestimmt. Das waren die einzigen krystallisirten Körper, für die beides, relative und absolute Ausdehnung, bekannt waren. Das höchst interessante Verfahren dieser beiden Körper gegen die ausdehnenden Eigenschaften der Wärme liefs es mir wohl der Mühe werth erscheinen auch andere Krystalle in dieser Beziehung zu untersuchen, und ich wandte dazu ein Verfahren an, welches wohl noch genauere Resultate gewähren kann, als die bisher erwähnten. Ehe ich dieses und die damit gewonnenen Ergebnisse mittheile, erlaube ich mir noch einige allgemeine Bemerkungen über verschiedene Methoden,

1) Diese Ann. Bd. 27, S. 240.
2) Diese Ann. Bd. 86, S. 206.

solche Messungen anzustellen, und über den Grad der Zuverlässigkeit, den dieselben haben. Was zunächst die von Mitscherlich zur Bestimmung der relativen Ausdehnung nach zwei verschiedenen Richtungen angewandte Methode betrifft, so giebt dieselbe bei dem hohen Grad der Vollkommenheit, den die Winkelmaafsinstrumente erreicht haben, wohl sehr sichere Resultate, doch kann hier eine Fehlerquelle eben in der ungleichen Ausdehnung der Krystalle selbst liegen. Es ist nämlich offenbar, dafs durch die ungleiche Ausdehnung der Krystalle die Flächen nicht absolut eben bleiben können, sondern etwas gekrümmt werden müssen, wodurch weiter nicht zu berechnende Fehler entstehen können, da diefs für die Spiegelung nicht ohne Einfluſs seyn kann. Für den Kalkspath habe ich den Grad dieser Krümmung zu bestimmen gesucht, worauf ich weiter unten noch zurükkommen werde, ohne jedoch mit den von mir bis dahin angestellten Messungen ein sicheres Resultat erhalten zu haben.

Auf dieses fufsend habe ich selbst ein anderes indirectes Verfahren eingeschlagen, die relativen Ausdehnungen zu bestimmen. Schleift man nämlich bei einer niedrigen Temperatur Krystalle senkrecht zur Hauptaxe vollkommen eben, so müssen dieselben bei erhöhter Temperatur mit einer Glasplatte bedeckt Newton'sche Ringe zeigen, wenn sie sich in der Richtung der Hauptaxe stärker ausdehnen, als in der der Nebenaxen; Krystalle, welche das umgekehrte Verhältnifs in Beziehung auf die Ausdehnung zeigen, mufs man bei höherer Temperatur eben schleifen, dann erhält man die Ringe bei Erniedrigung derselben. Ich habe es bei Kalkspath und bei Quarz in dieser Weise versucht, und wohl Ringe erhalten, aber nicht von der Regelmäfsigkeit, um daraus Messungen ableiten zu können. Es ist mir mit den mir zu Gebote stehenden Hülfsmitteln bis jetzt nicht gelungen, die Flächen dieser Krystalle vollkommen eben zu poliren. Doch glaube ich, dafs man hierin ein sehr einfaches Mittel habe, die ungleiche Ausdehnung der Krystalle zu demonstriren.

Eine andere, ebenfalls auf Veränderung der optischen Eigenschaften der Krystalle durch ungleiche Ausdehnung be-

ruhende Methode könnte wohl am allerschärfsten für gewisse Richtungen die Ausdehnung bemessen lassen, und ich werde darüber vielleicht weitere Ergebnisse mittheilen. Bekanntlich hängt die Farbe doppeltbrechender Krystallblättchen in polarisirtem Lichte von ihrer Dicke ab; wie man für viele Krystalle zum Voraus die Farbe bestimmen kann, welche ein Blättchen von gewisser Dicke zeigen wird, so kann man auch umgekehrt die Dicke aus der Farbe bestimmen. Bringt man nun unter den Polarisationsapparat ein Blättchen von unbestimmter Dicke, welches bei einer bestimmten Temperatur eine gewisse Farbe erkennen läfst, und beobachtet dann die Farbenveränderung mit Aenderung der Temperatur, so läfst sich daraus die Veränderung der Dicke des Blättchens bestimmen. Wie empfindlich in dieser Beziehung die Blättchen gegen Temperaturveränderung sind, davon kann man sich sehr leicht an jedem Gypsblättchen überzeugen. Hat man ein solches, welches in seiner ganzen Ausdehnung dieselbe Farbe zeigt, abgespalten, halbirt dasselbe und erwärmt nun die eine Hälfte in der Hand, so reicht schon diese geringe Temperaturerhöhung hin, dafs es neben die andere Hälfte auf den Polarisationsapparat gelegt eine ganz andre Färbung zeigt, die natürlich aber rasch wieder der der letzteren gleich wird.

Was nun die Methode betrifft, aus der Gesammtausdehnung eines Krystallkörpers und der vorher gefundenen relativen der verschiedenen Richtungen die absolute Ausdehnung nach den letzteren zu finden, so kann diese gar kein richtiges Resultat geben, wenn nicht noch ein weiterer Factor gegeben ist, von dem ich gleich sprechen will. Denken wir uns nämlich zwei Platten aus einem Kalkspath geschnitten, beide bei 0° von derselben Dicke, kreisrund mit zwei ebenen Flächen und von demselben Volumen, die eine, *A*, senkrecht zur Hauptaxe, die andere, *B*, parallel zur Hauptaxe; nun erwärmen wir diese Platten. Da sich der Kalkspath in der Richtung der Hauptaxe sehr stark ausdehnt, dagegen nach den Nebenaxen sogar zusammenzieht, so ist offenbar, dafs die beiden Platten eine ganz verschiedene Form durch die Erwärmung annehmen müssen. *A* wird eine bi-

convexe Platte mit etwas concaver Randfläche von kleinerem kreisförmigen Durchmesser als vor der Erwärmung, *B* dagegen eine biconcave mit convexer Randfläche, deren Umrifs eine elliptische Form haben wird. Wie die Form, so mufs aber auch das Volumen dieser beiden Platten nach dem Erwärmen verschieden seyn. Daraus geht hervor, dafs auf die Form des Krystalles sehr viel ankommt, dessen Gesammtausdehnung wir untersuchen wollen, dafs man demnach gar nicht berechtigt ist, schlechtweg von einer Gesammtausdehnung solcher krystallisirter Körper zu sprechen, die sich nach verschiedenen Richtungen hin verschieden ausdehnen. Aber selbst nicht einmal für eine bestimmte einzelne Form eines solchen Krystalles können wir das, wenn wir auch selbst die absolute Ausdehnung nach zwei verschiedenen Richtungen kennen. Dazu bedürfen wir eben noch eines dritten Factors, wir müssen wissen, welchem Gesetz die Zu- oder Abnahme der Ausdehnung zwischen zwei Richtungen folge, für die wir sie gefunden haben. Denken wir uns durch zwei auf einander rechtwinklige Axen a und c eines Krystalls einen Durchschnitt, der bei 0° die Form aCc darbietet. Durch Messung hätten wir nun gefunden, dafs bei 100° aC sich zu αC verkürzt und Cc zu γc ausdehnt, so wissen wir damit noch gar nichts über die Form, welche die Linie aC annehmen wird; sie kann eben so gut die Curven $\alpha\beta\gamma$, oder $\alpha\delta\gamma$ oder irgend eine beliebige andere Form annehmen. Das können wir nur bestimmen, wenn wir die Ausdehnung des Krystalles in einer zwischen Ca und Cc gelegenen Richtung z. B. $C\beta$ ebenfalls kennen, und der Winkel, den diese Linie mit Ca und Cc macht, uns ebenfalls bekannt ist. Aus den unten mitgetheilten Messungen einer solchen Mittelrichtung am Kalkspath ergab sich jedoch das Resultat, dafs die daraus berechneten Werthe der verschiedenen Stücke $C\alpha$, Cc und $\varepsilon\beta$ Fig. 12 Taf. II der Bedingungsgleichung nicht entsprachen, welche erfüllt seyn müfste, um die Curve als eine zweiter Ordnung ansehen zu können; es liefs sich daher dieselbe auch nicht aus den vorhandenen Daten bestimmen.

Um daher vollkommen genau die Ausdehnungsverhältnisse krystallinischer Körper kennen zu lernen, bleibt kein anderes Mittel, als möglichst genau directe Messungen der Ausdehnung derselben nach bestimmten Richtungen vorzunehmen.

Die im folgenden mitgetheilten Resultate sind nach einer Methode gefunden, welche auf einem Principe beruht, das Gaufs zuerst zur Messung äufserst kleiner Drehungswinkel angewandt hat [1]), auf das sich die verschiedenartigsten Messungen basiren lassen, und das, richtig angewandt, ein Hülfsmittel an die Hand giebt, dem kein anderes an Genauigkeit gleich kommt. Bringt man nämlich an dem Gegenstand, der eine kleine Drehung vollführt, ein Spiegelchen an, welches sich mit dreht und gegen eine in grofser Entfernung von ihm angebrachte Scale gerichtet ist, so wird man in einem auf das Spiegelchen so, dafs es die gespiegelte Scale erblickt, gerichteten Fernrohre, durch die Drehung des Spiegels einen Theilstrich nach dem andern durch das Fadenkreuz hindurchgehen sehen und man kann auf diese Weise, wenn die Entfernung der Scale von der Drehungsaxe des Spiegelchens bekannt ist, leicht den Drehungswinkel berechnen.

Um diese Methode für die Bestimmung der Ausdehnung der Krystalle anwenden zu können, habe ich den Fig. 9 Taf. II abgebildeten Apparat construirt.

Auf einer dicken eisernen vollkommen eben geschliffenen Platte *A* steht senkrecht eine rechtwinklige Säule *B* und eine dünnere runde *C*, beide ebenfalls von Eisen. Die Säule *B* umschliefst eine verschiebbare mit einer Stellschraube versehene Hülse *D*, von der horizontal ein Arm *E* hervortritt, in dem Einschnitte vorhanden sind, um die Axen der Fassung *F* aufzunehmen, durch welche ein Glasstäbchen *H* hindurchgeht, an das das Spiegelchen *G* befestigt ist; das Glasstäbchen kann sich um die horizontalen auf *E* ruhenden Axen in verticaler Richtung auf- und ab bewegen. An der schwächeren Säule *C* ist ebenfalls eine verschiebbare Hülse,

1) Sey mir die Bemerkung erlaubt, dafs ich es zuerst angewandt und beschrieben habe, in dies. Ann. VII (1826) 127. (*P.*)

an der eine Feder *J* hervorsteht, stark genug um das hintere Ende des Glasstäbchens sanft gegen einen untergeschobenen Körper, *L*, anzudrücken. Der Rand der Hülse *D* ist oben bei *K* schräg zugeschärft und zwar so weit, dafs der scharfe Rand genau in derselben horizontalen Ebene wie die mathematische Axe der kleinen Drehungsaxen des Glasstäbchens liegt. Die Säule *B* ist in halbe Millimeter eingetheilt, so dafs man dadurch leicht ablesen kann, wie hoch die Axen über der Ebene der Eisenplatte stehen.

Der Gebrauch des Instrumentes ist nun sehr einfach. Denken wir uns nämlich in einer bekannten grofsen Entfernung von der Drehungsaxe genau in der Verlängerung des Glasstäbchens *H* eine mit horizontalen Theilstrichen versehene Scale senkrecht angebracht, daneben ein Fernrohr so, dafs man durch dasselbe einen bestimmten Theilstrich jener im Spiegel mit seinem horizontalen Faden des Fadenkreuzes zusammenfallend sieht, so wird eine geringe Ausdehnung oder Zusammenziehung des Krystalles *L* die Neigung des Glasstäbchens und damit die des Spiegels ändern, und es wird nun ein anderer Theilstrich der Scale in dem feststehenden Fernrohre sich zeigen. Doppelt so viel Mal nun, als die Entfernung der Scale von der Drehungsaxe des Glasstabes gröfser ist, als der kurze auf dem Krystalle ruhende Arm des Glasstäbchens, zeigt sich die Tangente des Drehungswinkels, und hierauf die Ausdehnung des Krystalles selbst vergröfsert. Die Vergröfserung entspricht der in dem Spiegel durch das Fernrohr abgelesenen Differenz der beiden vor und nach der Ausdehnung im Fadenkreuz erscheinenden Theilstriche, und giebt den Winkel verdoppelt, indem eben durch die Spiegelung der Drehungswinkel verdoppelt werden mufs. Ist also z. B. die Entfernung der Scale von *E* 1000mal gröfser als die Länge des kurzen Armes des Glasstäbchens, wie ich es gerichtet hatte, so erscheint uns dadurch die Ausdehnung von *L* um das 2000 fache vergröfsert, vorausgezetzt, dafs während des Versuches die Drehungsaxe *E* selbst ihre Stellung nicht verändere.

Man sieht nun leicht, dafs man auf diese Weise um so

genauere Resultate erlangen kann, je weiter man die Scale von dem Drehungspunkte entfernt, und je kürzer man dabei den kurzen Arm des Stäbchens macht, wenn man nur diese beiden Gröfsen möglichst sicher messen kann.

Was zunächst die Entfernung der Scale von der Drehungsaxe betrifft, so kann man dabei einen viel höheren Grad der Genauigkeit mit Sicherheit erreichen, als bei der Bestimmung der Länge des kurzen Armes des Glasstäbchens, und eben deswegen ist es gerathen, den kurzen Arm nicht allzukurz zu nehmen, weil sich der bei der Messung desselben gemachte Fehler ebenfalls in demselben Grade vervielfacht, als die Entfernung der Scale seine Länge übertrifft. Ferner ist es ebenso nothwendig, dafs das Instrument, während der Versuche absolut unverrückt und unerschüttert stehe.

In Beziehung auf die letztere Bedingung verdanke ich es der Zuvorkommenheit des Hrn. Bergraths v. Raumer, dafs ich unter sehr günstigen Verhältnissen meine Untersuchungen anstellen konnte, indem er mir gestattete den Saal des mineralogischen Kabinets der hiesigen Universität zu benutzen, der im Erdgeschosse gegen den nie befahrenen Schlofsgarten zuliegt. In der 6 Fufs dicken massiven von Quadern erbauten Mauer desselben wurde eine starke eiserne Schraube eingelassen, die in einem Charniere einen starken eisernen rechteckigen Rahmen trug, der horizontal in dem Charniere sich bewegen und durch eine Klemmschraube desselben vollkommen feststellen liefs. Auf diesen Rahmen wurde nun eine am Boden mit einer durchbrochenen Messingplatte zur Verstärkung versehene Blechkapsel gestellt, die ebenfalls durch eine Schraube festgeklemmt, und durch eine Stellschraube an ihrem hinteren Ende etwas gehoben oder gesenkt werden konnte.

Aus derselben Mauer ging ein unten mit einer Nadelspitze versehenes Bleiloth, das den Boden berührte und so den Anfangspunkt bezeichnete, von dem aus die Entfernung der Scale abgemessen wurde. Von der Scale selbst hing ein ähnliches Loth herunter, das die richtige Stellung der

Scale sowohl in Beziehung auf Entfernung als auf ihre senkrechte Lage anzeigte. Der Faden des ersten Bleilothes wurde dann verkürzt, so dafs die Spitze desselben genau über die Axe bei *E* zu stehen kam, und dadurch auch die richtige Stellung des Instrumentes in Beziehung auf seine Entfernung von der Scale erreicht werden konnte. Fernrohr, Mittelpunkt der Scale und die Drehungsaxe des Instrumentes lagen in einer horizontalen Ebene; das Fernrohr, ein Steinheil'sches mit 56facher Vergröfserung, stand etwa $1\frac{1}{2}$ Fufs links von der Scale etwas weiter gegen den Spiegel zu. Im Verlauf der ganzen Zeit, während ich diese Versuche anstellte, änderte sich die Temperatur in den nicht geheizten und im Winter nicht betretenen Sälen um nicht mehr als 3° C., und von der vollkommnen Sicherheit des Standes aller Instrumente habe ich mich öfters überzeugt, indem ich das Fernrohr auf den Spiegel gerichtet liefs und nach mehreren Stunden wahrnahm, dafs noch genau der selbe Theilstrich der Scale mit dem Faden desselben zusammenfiel.

Um möglichst genau die Länge des kurzen Armes des Glasstäbchens zu bestimmen, wandte ich folgendes Verfahren an. In einer beiläufigen Länge von 12^{mm} wurde ein feiner Strich mit einer Diamantspitze auf demselben gezogen und nun mit feinem Smirgel das Ende desselben so lange abgeschliffen, bis vom Rande bis zum Striche es genau 12^{mm} waren, was an einem in $0{,}1^{mm}$ eingetheilten Maafsstabe von Oberhäuser bei geringer Vergröfserung bestimmt wurde. Nun handelte es sich noch darum, möglichst genau das Zusammenfallen des feinen Striches auf dem Glasstäbchen mit der Ebene zu bewirken, die senkrecht auf der Axe des Glasstäbchen durch die mathematische Drehungsaxe desselben hindurchgeht. Um dieſs zu erreichen, war um die Fassung *F* Fig. 11 Taf. II vergröfsert, ein feiner Kreis *r* so gezogen, dafs ein Schnitt, durch denselben gelegt, ebenfalls durch die Axe hindurchgehen mufste, und die Fassung auf der untern Seite so durchbrochen, dafs das Glas sichtbar war. Ich spannte nun einen feinen Kokonfaden so

über diese Oeffnung, dafs seine beiden Enden in jenen Kreis fielen und schob nun das Glasstäbchen in der vorne eingeschnittenen und dadurch etwas federnden Fassung so lange hin und her, bis unter einer starken Lupe der Faden und der Ritz auf dem Glasstäbchen sich deckten. In dieser Lage wurde nun das Glasstäbchen mit Schellack fest gekittet.

Um noch das Aufliegen des Glasstäbchens gerade mit seinem äufsersten Ende auf dem Krystalle sicher zu haben, war dasselbe, wie Fig. 10 zeigt unten etwas ausgeschliffen und hinten vollkommen eben.

Man kann mit Sorgfalt auf diese Weise das Instrument ziemlich sichere Resultate gebend erhalten, hat übrigens ein sehr einfaches Mittel dasselbe zu controliren. Man braucht nämlich statt eines Krystalles nur einen anderen Körper von bekannter Länge und mit bekanntem Ausdehnungscoëfficienten unter J zu bringen, und aus dem mit dem Apparat erhaltenen Resultate das Verhältnifs der Länge des kurzen Armes zur Entfernung der Scale zu berechnen. Ich habe auf diese Weise durch Versuche mit Stücken Blei und Kupfer mich überzeugt, dafs das Verhältnifs dieser beiden Dimensionen von mir so weit richtig angenommen war, dafs der daraus entspringende Fehler aufserhalb der Beobachtungsgränzen zu liegen kommt, geringer ist als die Differenzen, welche zwei an ein und demselben Körper vorgenommene Versuche mir ergaben.

Die Versuche wurden nun in folgender Weise angestellt. Die zu untersuchenden Krystalle wurden mehrere Stunden wenigstens in schmelzenden Schnee gelegt, und dann unter den kurzen Arm des Glasstäbchens gebracht. Je nach der Höhe des Krystalles wurde die Hülse D an der Säule auf- oder abgeschoben und der Stand derselben notirt. Die ganze Vorrichtung wurde nun in eine Blechkapsel gestellt, die so weit mit Wasser und Schnee angefüllt war, dafs das Wasser bis zu den Axen reichte und der Krystall höchstens mit seiner obersten Fläche etwas über dasselbe hervorragte. Ein kleiner Einschnitt war so in der einen Wand

der Blechkapsel angebracht, dafs der vordere Theil des Glasstäbchens mit dem Spiegel aufserhalb der Blechkapsel zu stehen kam. Die Kapsel wurde mittelst eines Deckels gut verschlossen, der eine Oeffnung hatte, durch die das Bleiloth hindurch konnte, um die Stellung der Axe darnach berichtigen zu können. Der Spiegel selbst war noch von allen Seiten mit einer leichten Kapsel von schwarzem Papier umgeben, um die allenfalls an ihm vorbeistreichenden Dämpfe von seiner Fläche abzuhalten. Nun wurde die ganze Vorrichtung mittelst der Stellschraube an der Blechkapsel und dem Charniere an dem Rahmen so gerichtet, dafs die Scale in das Fernrohr gespiegelt wurde, und der im Fadenkreuz erscheinende Theilstrich notirt. Blieb dieser unverrückt, hatte also der ganze Apparat mit dem Spiegel die gleiche Temperatur von 0°, so wurde durch eine untergestellte Weingeistlampe die Blechkapsel langsam bis zum Kochen des Wassers in ihr erhitzt, und so lange im Kochen erhalten, bis wenigstens 5 Minuten derselbe Theilstrich der Scale unverrückt im Fernrohre sich zeigte, dieser wieder notirt, ebenso der dem jeweiligen Barometerstand entsprechende Siedepunkt. Mehrere Tage war in dem Saale eine unverrückte Temperatur von 0° und währenddefs habe ich nach dem Kochen den Apparat mehrmals stehen lassen und mich überzeugt, dafs der Spiegel genau wieder denselben Theilstrich der Scale zeigte, den er beim Anfange des Versuches hatte erkennen lassen.

Anfangs hatte ich an dem Stifte *C* eine Vorrichtung angebracht, um die Krystalle zu halten, habe mich aber bald überzeugt, dafs dieselbe nicht nur überflüssig, sondern in vielen Fällen geradezu störend ist. Daher habe ich ohne Ausnahme alle Krystalle vollkommen frei, nur von der Feder *J* etwas gehalten, hingestellt. Dazu, wie überhaupt, um ein sicheres Resultat zu erhalten, ist es nöthig, dafs sie mit einer vollkommen ebenen Fläche aufstehen, weil ein geringes Wanken das Resultat unsicher macht. Wo daher nicht von Natur schon vollkommen ebene Flächen vorhanden waren, und bei gröfseren Krystallen ist das nicht so

oft, als man vielleicht glaubt, gegeben, habe ich alle sorgfältig vollends eben geschliffen.

Es ist offenbar, dafs die Resultate um so sicherer ausfallen, je gröfser die Dimensionen der Krystalle sind, welche man untersucht, leider standen mir nicht immer gerade grofse zu Gebote; ich habe deswegen auch im Folgenden immer die Länge der von mir gemessenen mit angegeben. Diese selbst wurde mittelst eines feinen Sphärometers bestimmt, dessen Schraube Umgänge von 0,3^{mm} hatte, so dafs ein Theilstrich der in 180 Theile eingetheilten Scheibe desselben 0,0017^{mm} betrug.

Was die Berechnung selbst betrifft, so ist sie ziemlich umständlich, wenn man alle nöthigen Correctionen anbringt. Man sieht nämlich leicht, dafs das Instrument zunächst nur die Differenz der Ausdehnung des Krystalles und der der Säule *B* giebt, und eben um diese genau berechnen zu können, wurde sie in halbe Millimeter eingetheilt, und die Hülse *D* immer so gestellt, dafs ihr scharfer Rand genau mit einem Theilstriche zusammenfiel. Auf der Scale waren die Theilstriche so mit Ziffern versehen, dafs von unten nach oben die Zahlen wuchsen; es ist daher, wenn sich der Krystall von 0° bis zum Siedepunkt *stärker* ausdehnte als das Eisen, die Differenz der beiden bei diesen Temperaturen im Fernrohre beobachteten Theilstriche stets positiv, im entgegengesetzten Falle negativ, was ich des folgenden wegen bemerken mufs. Als Ausdehnung des Eisens habe ich das Mittel aus den Versuchen von Lavoisier, Smeaton, Borda, Schwerd, Hällström, Dulong und Petit zu Grunde gelegt, nämlich 0,00124.

Aufser der Correction wegen des bei uns stets niedrigeren Siedepunktes sind nun noch die anzubringen, welche die Ausdehnung des Glasstäbchens sowohl in der Länge wie in der Dicke mit sich bringt, das Dickerwerden der Axe, wodurch sie etwas höher in ihrem Lager hinaufrückt u. s. f., die sich jedoch alle ziemlich sicher bestimmen lassen. Vorläufig theile ich hier die Resultate übersichtlich mit, welche ich an Krystallen des regulären, zwei- und einaxi-

gen so wie drei- und einaxigen Krystallsystemes erhalten habe, denen ich später die aus andern Krystallsystemen folgen lassen will.

Ich habe überall, mit einziger Ausnahme des Zirkons nach Axe *a*, wenigstens zwei Versuche mit allen Krystallen angestellt und das Mittel aus diesen berechnet, daneben aber immer die Differenz angegeben. Man wird bemerken, dafs diese im Ganzen überall sehr gering ist, nicht gröfser als die, welche zwischen den Angaben verschiedener Physiker für die Ausdehnung anderer Körper stattfindet, und in sofern glaube ich einigermafsen sichere Resultate gefunden zu haben.

Es enthält demnach die erste Columne die Namen der Krystalle und die Axen, welche gemessen wurden, wo *a* die Nebenaxe, *c* die Hauptaxe bedeutet.

Die zweite Columne giebt die Länge dieser Axen nach den Messungen mit dem Sphärometer bei 0°.

Die dritte enthält die im Spiegel beobachtete Differenz zwischen der ersten Ablesung bei 0° und der zweiten beim Sieden, in Millimetern.

Die vierte Columne enthält den daraus abgeleiteten Ausdehnungscoëfficienten.

Die fünfte die Abweichung der Versuche vom Mittel. Das Wort: »Derselbe« in der ersten Columne bedeutet, dafs die Messung an demselben Krystalle vorgenommen wurde, wie die vorhergehende.

Namen	Länge	Differenz im Spiegel	Ausdehnungscoëfficient	Abweichung
	mm	mm		
1) Granat	25,000	— 23,5	0,0008478	0,000025
2) Schwefelkies	23,954	— 15,5	0,0010084	0,000008
3) Magneteisen	13,700	— 13,5	0,0009540	0,000040
4) Bleiglanz	28,963	+ 31,5	0,0018594	0,000000
5) Flufsspath	21,063	+ 25,5	0,0019504	0,000056
6) Zinnstein nach *c*	19,796	— 34	0,0004860	0,000000
7) Derselbe nach *a*	25,176	— 44	0,0004526	0,000041
8) Vesuvian nach *c*	25,660	— 29	0,00078721	0,000019
9) Derselbe nach *a*	19,087	— 15	0,00096287	0,000010

Namen	Länge	Differenz im Spiegel	Ausdehnungscoëfficient	Abweichung
	mm	mm		
10) Zirkon nach *c*	16,156	— 24	0,0006264	0,000009
11) Derselbe nach *a*	9,924	— 7	0,00110540	—
12) Beryll nach *c*	32,765	— 76	0,00017214	0,000004
13) Derselbe nach *a*	28,025	— 65	—0,00001316	0,000013
14) Korund nach *c*	12,591	— 18,5	0,00068756	0,000000
15) Derselbe nach *a*	22,978	— 35,5	0,00065513	0,000038
16) Quarz nach *c*	41,200	— 37	0,0008073	0,000020
17) Quarz nach *a*	18,111	+ 6	0,0015147	0,000020
18) Turmalin nach *c*	25,050	— 20	0,0009369	0,000000
19) Derselbe nach *a*	14,928	— 18,5	0,00077321	0,000061
20) Kalkspath nach *c*	34,543	+ 92	0,0026261	0,000014
21) Kalkspath nach *a*	20,590	— 67	—0,00031054	0,000005
22) Kalkspath nach einer mittleren Richtung	19,92	—111,5	0,0003076	0,000014

Wo in der dritten Columne ein — vor dem Ausdehnungscoëfficienten steht, da bedeutet es eine Contraction, die ich bisher nur bei zwei Krystallen, Kalkspath und Beryll, gefunden habe. Bei dem letzteren ist demnach die ganze Ausdehnung aufserordentlich gering, geringer als bei irgend einem anderen Körper. Ein weiterer Versuch ergab in der Richtung der Nebenaxe als Resultat weder eine Ausdehnung noch eine Contraction, jedenfalls ist demnach auch die letztere höchst gering; zu einer, wenn auch aus den weiter oben angeführten Gründen für die Berechnung selbst kein brauchbares Resultat liefernden, Controle habe ich durch Wägen desselben in Wasser die Totalausdehnung eines grofsen über 91 Grm. schweren Krystalles zu bestimmen gesucht und dafür 0,00018 erhalten, was jenen Messungen wenigstens nicht widerspricht, wenn es auch selbst nur beiläufig richtig ist. Leider standen mir vom Korund nach *c* und auch vom Zirkon nach *a* nur kleine Krystalle zu Gebote; die gröfseren waren mit zu viel Rissen durchzogen oder auch so eingewachsen, dafs ich sie nicht nnter den Apparat bringen konnte. Daher bei diesen beiden die Resultate wohl am leichtesten eine kleine Aenderung erfahren dürften.

Was den Kalkspath betrifft, so geben meine Messungen

die Ausdehnung nach *c* und *a* etwas geringer, als sie nach Mitscherlich sich herausstellte; ich habe deswegen mit zwei verschiedenen ziemlich ausgedehnten Krystallen drei Versuche gemacht, erhielt aber immer das angegebene Resultat, und zwar betrug die gröfste Abweichung nur 0,000014. Vielleicht mag ein geringer Gehalt von Bittererde in den von mir angewandten Krystallen die Ausdehnung etwas verringert haben, da nach Mitscherlich Bitterspath eine geringere Ausdehnung erkennen läfst, obwohl ich in kleinen von dem einen Krystalle genommenen Stücken davon nichts fand. Die als mittlere Richtung bezeichnete war die, welche dieselbe Neigung gegen die Hauptaxe hatte, als die Endkante. Es wurden zu diesem Behufe an einem als längliches Prisma erscheinenden Kalkspathrhomboëder oben und unten zwei Flächen so angeschliffen, dafs sie senkrecht auf den übrigen vier standen, und nun die Ausdehnung dieser künstlichen rhombischen Säule nach ihrer Längsrichtung gemessen. Nach diesen drei Linien und deren Veränderung in der Wärme wurde nun die Krümmung berechnet, welche die bei 0° als geradlinig angenommene Verbindungslinie der Endpunkte derselben, also die kurze Diagonale des Rhombus des Kalkspaths beim Siedepunkt, zeigen mufste.

X. *Ueber den Unterschied der prismatischen Spectra des am positiven und negativen Pol im luftverdünnten Raume hervortretenden elektrischen Lichtes; von H. W. Dove.*

(Aus d. Monatsb. d. Berl. Akad. Febr. 1858.)

Wenn ich nicht irre hat Quet zuerst beobachtet, dafs, wenn man das elektrische Ei so vollständig als möglich entleert und die hineinreichenden metallischen Drähte mit einem Ruhmkorff'schen Apparat verbindet, an diesem zwei

Lichterscheinungen vortreten, welche durch Farbe, Gestalt und Lage verschieden sind. Die eine derselben stellt sich als ein blaues Licht dar, welches den negativen Pol gleichmäfsig umgiebt, das zweite Licht hingegen ist feuerroth, haftet am positiven Pole und breitet sich von da nach dem negativen Pol aus, ist aber von dem Lichte desselben durch einen dunklen Raum geschieden. Bequemer läfst sich diese Erscheinung untersuchen, wenn man die Drähte in leergemachte Röhren einschmilzt, wie sie von Geifsler in Bonn in grofser Vollendung angefertigt werden.

Untersucht man die beiden Lichtmassen durch Absorption in farbigen Gläsern oder dadurch, dafs man durch sie farbige Pigmente beleuchten läfst, so sieht man sogleich, dafs von homogener Farbe hier nicht die Rede ist, denn beide Lichtmassen sieht man sehr deutlich durch ein $\frac{1}{4}$ Zoll dickes Kobaltglas; auch erscheint der ganze Raum, welchen sie einnehmen, rothleuchtend in einem rothen Ueberfangglase; beide Lichtmassen werden gelblich durch eine dicke Schicht gelben Glases, und nehmen einen bräunlichen Ton an, wenn man sie durch ein Lineal von Uranglas, welches unter ihrem Einfluſs fluorescirt betrachtet, während dieses selbst porcellanartig weifs erscheint, wenn man durch Reflexion des elektrischen Lichtes von der äufseren Fläche desselben diefs mit dem aus dem Innern austretenden fluorescirenden verbindet. Beide Lichtmassen verschwinden in der Combination eines Kobaltglases und rothen Ueberfangglases, welche allein das äufserste homogene Roth hindurchläfst. Verschiedenartige Pigmente lassen sich deutlich ihrer Farbe nach erkennen, wenn sie von dem positiven oder negativen Lichte beleuchtet werden.

Läfst man aber das Licht durch eine enge Spalte hindurchgehen und analysirt man dasselbe durch ein gleichseitiges Prisma von Flintglas oder Schwefelkohlenstoff im Minimum der Ablenkung, so erhält man durchaus verschiedene Spectra des positiven und negativen Lichts.

Eine birnförmige Geifsler'sche Röhre von 7 Zoll Länge ergab folgendes: das Spectrum des blauen Lichtes am ne-

gativen Pole zeigte einen breiten schwarzen Streifen im blauen Lichte und einen zweiten gleich breiten an der Gränze des Blau und Grün, einen sehr schmalen an der Gränze des Gelb, keinen im Roth. Das Licht des positiven Poles gab ein continuirliches Violett und Blau, mehrere schmale Striche im Grün, einen sehr schwarzen Strich an der Gränze des Gelb, und einen schmalen dunklen Streifen mitten im Roth. Gerade die Farben also, welche in dem einen Spectrum discontinuirlich erscheinen, sind es nicht im anderen.

Eine zweite Röhre gleicher Länge kugelförmig in der Mitte und mit kegelförmigen Ansätzen an beiden Enden zeigte am negativen Pol dieselbe Erscheinung, aber im Licht am positiven Pol aufser den früher angeführten Streifen zwei schmale dunkle Streifen im Blau.

Die in die Glasröhren eingeschmolzenen Drähte waren von Platina. Im elektrischen Ei von cylindrischer Form zeigte sich zwischen Spitzen von Messing das negative Licht übereinstimmend mit dem in den Röhren, nur mit dem Unterschiede, dafs das Licht zwischen beiden schwarzen Streifen grünlicher erschien, etwa so wie der Raum zwischen *F* und *b* des Sonnenspectrums; im Spectrum des positiven Lichtes erschienen aufser den Streifen im Roth und Grün und an der Gränze des Gelb noch mehrere schmale im Blau.

Wurde die Spitze am negativen Pol mit einer Kugel vertauscht, während die des positiven Poles unverändert blieb, so trat jetzt auch im Roth des negativen Lichtes ein schmaler dunkler Streifen hervor bei sonst unveränderter Erscheinung, während nun auch im positiven Licht zwei starke dunkle Streifen im Blau sichtbar wurden. Die früher gesonderten Erscheinungen traten jetzt in beiden Spectris mehr mit einander verbunden auf, d. h. die Erscheinung stellte sich so dar, als wenn dem positiven Licht etwas negatives, und eben so dem negativen etwas positives beigemengt wäre. Aufserdem zeigt das negative Licht unter den verschiedenen Abänderungen des Versuchs eine gröfsere Beständigkeit als das positive. In jedem einzelnen Falle blei-

ben die Spectra aber verschieden, wovon man sich am leichtesten überzeugt, wenn die Spalte so lang ist, dafs man gleichzeitig beide Spectra, durch den dunklen Raum geschieden, eins in der Verlängerung des andern übersieht.

Zur Vergleichung mit dem Spectrum des Funkens wurden die Spitzen eines Funkenmikrometers durch den Glasfaden eines Haarbüschels verbunden und dadurch ein geradliniger Funkenstrom erhalten, in welchem die charakteristischen hellen Linien sehr lebhaft hervortraten. Von diesen hellen Linien zeigte sich keine Spur in den Spectris des luftverdünnten Raumes.

Discontinuirliche Spectra der erwähnten Art erscheinen bei farbigen Flammen oder wenn eine weifse Lichtquelle der Absorption farbiger Gasarten unterworfen wird. Da nun der die Pole scheidende Raum nicht absolut leer ist, so könnte man annehmen, dafs entweder verschiedene gasförmige Körper sich an den Polen befinden oder ein und derselbe in modificirtem Zustande. Beides setzt aber wohl eine gewisse Dauer der Wirkung der Pole voraus und eine mit dieser sich steigernde Wirkung. Schaltet man aber zwischen dem galvanischen Apparat und dem Ruhmkorff'schen einen Stromwender ein, so vertauschen sich die beiden Spectra augenblicklich mit einander und bleiben dann unverändert fortbestehen. Dieſs spricht gegen die oben erwähnte Annahme.

Bei dem Ablenken der Lichterscheinung durch einen starken Magnet habe ich keine Veränderung des Spectrums wahrgenommen.

Röhren, welche beim Einschalten zwischen die Pole erfüllt erscheinen von einem bläulich weifsen Lichte mit den charakteristischen Querstreifen, die beim Umwenden des Stromwenders ihre concave Krümmung in eine convexe verwandeln, geben ein Spectrum, dem jene starken Unterbrechungen ganz fehlen. Schmälere Streifen habe ich nur im Grün bemerkt, nicht in den anderen Farben wenigstens in den von mir untersuchten Röhren.

Die Analogie der elektrischen Lichterscheinungen im luft-

verdünnten Raume mit denen des Nordlichts hat sich von je her so unmittelbar den Naturforschern dargeboten, daſs man früher jene ein künstliches Nordlicht nannte, und in der That erinnert das Feuerroth des positiven Pols lebhaft an das charakteristische Roth mancher Nordlichter, wenigstens an zwei unter den zahlreichen, welche ich in den dreiſsiger Jahren in Berlin gesehen habe. Die so auffallende Eigenthümlichkeit der Spectra des elektrischen Lichtes im leeren Raume eröffnet die Aussicht durch prismatische Analyse des Nordlichts über die elektrische Natur desselben entscheiden zu können.

XI. *Notiz über die innere konische Refraction; von Dr. P. Zech.*

Ein einfaches Mittel, selbst bei schwach doppelt brechenden Krystallen die innere konische Refraction zu beobachten und zu messen, ist folgendes: Die parallel geschliffene Krystallplatte, nahezu senkrecht zu einer optischen Axe geschliffen, wird auf einer Seite mit Stanniol belegt und unter das Mikroskop gebracht, so daſs die Fläche des Stanniols durch den Krystall hindurch deutlich gesehen wird. Wird jetzt der Stanniol von oben durch Sonnen- oder Lampenlicht beleuchtet durch den Krystall hindurch, so sieht man bei richtiger Lage des Krystalles eine Menge feiner glänzender Lichtringe, die Bilder der am weiſsen Licht reflectirenden Theile des Stanniols. Die Feinheit der Ringe macht die Messung ziemlich genau. Ich fand auf diese Weise für die Weite der Kegelöffnung:

bei Weinsäure 4° 12′, Unterschied des kleinsten und gröſsten beobachteten Werths: 34′,

bei Zucker 0 55′, Unterschied des kleinsten und gröſsten beobachteten Werths: 4′,

bei Diopsid 0° 54′, Unterschied des kleinsten und gröfsten beobachteten Werths: 3′

bei Salpeter 0° 45′, Unterschied des kleinsten und gröfsten beobachteten Werths: 2′

bei Gyps 0° 18′, Unterschied des kleinsten und gröfsten beobachteten Werths: 1½′.

Für den Arragonit fand ich 1° 52′, (nach Lloyd 1° 50′, Theorie 1° 55′). Für Gyps geben Ångström's Brechungscoëfficienten 17′ 25″, für Salpeter giebt die Theorie 46′25″.

XII. *Ueber den Einfluſs des Drucks auf die chemische Affinität; von Dr. Lothar Meyer.*

(Briefliche Mittheilung),

Königsberg i. Pr. 28. Aug. 1858.

Im zwölften Bande Ihrer Annalen findet sich eine Notiz von Babinet, welche den Vorschlag enthält, als Maafs der chemischen Affinität den Druck zu benutzen, welchen ein durch chemische Zersetzung entwickeltes Gas erreichen muſs, damit die Zersetzung aufhöre. Der Autor giebt an, daſs für Zink und Schwefelsäure diese Gränze erreicht sey, wenn bei 0° der Druck des entwickelten Wasserstoffgases 13 Atmosphären betrage; bei 25° C. dagegen übersteige dieser Druck die Höhe von 33 Atmosphären.

Versuche, die ich in Prof. Werther's Laboratorium hieselbst anstellte, sind mit diesen Angaben nicht in Uebereinstimmung. Bei den verschiedensten Concentrationen der Schwefelsäure, auch bei Gegenwart groſser Quantitäten verschiedener schwefelsaurer Salze und selbst bei Anwendung von Citronen- und Essigsäure, überschritt der Druck des durch Zink ausgeschiedenen Wasserstoffgases weitaus die

von Babinet angegebenen Gränzen. Der Grund dieser Abweichung scheint mir darin zu liegen, dafs Babinet kupferne, durch einen Hahn verschlossene Gefäfse anwandte, während ich mich zugeschmolzener Glasröhren bediente.

Eine Gränze scheint die Zersetzung allerdings zu finden; wenigstens reagirt auch nach monatelangem Liegen die Flüssigkeit bei überschüssigem Zink noch sehr stark sauer. Welches aber das Maximum des Druckes sey, habe ich nicht bestimmen können, da von den mir zu Gebote stehenden Röhren nur solche den Druck des entwickelten Gases aushielten, in welche ich, ihrer Enge wegen, ein Manometer nicht wohl einfügen konnte. Der gröfste Druck, den ich direct am Manometer beobachtete, betrug 66 Atmosphären. Die Säure bestand aus 1 Vol. SH_2O_4 und 3 Vol. H_2O. Die Temperatur war die des schmelzenden Eises. Das Rohr wurde sehr bald nach Beobachtung dieses Druckes zerschmettert [1]).

XIII. *Bemerkungen über phosphorsaures Kupferoxyd; von Prof. Bergemann in Bonn.*

(Aus einer brieflichen Mittheilung von Prof. Rammelsberg.)

Durch meine neuere Untersuchung des Ehlit (siehe von Leonhard u. Bronn's Jahrbuch) bin ich veranlafst worden, einige Versuche mit anderen Verbindungen des Kupferoxyds mit Phosphorsäure und Wasser vorzunehmen, um zu ermitteln, ob diese nicht auch vielleicht Vanadinsäure enthalten. Wenn ich diese Säure auch weiter nicht gefunden habe, so lieferten die Versuche mir doch unerwartete Resultate, indem ich in allen zu der Gruppe der Phosphorkupfer gehörende Mineralien Arsensäure, und oft in beträchtlicher Menge, angetroffen habe. Ich war durch die Auffindung dieser Säure um so mehr überrascht, da die über diese

1) Schon Berzelius hat in seinem Jahresb. IX. (1830) S. 69 Einwürfe gegen den Babinet'schen Versuch erhoben. (*P.*)

Mineralien publicirten Arbeiten auch keine Spur derselben angeben.

Die Analyse des Libethenits von Ungarn, welche ich mit ausgewählten kleinen Krystallen, die ich der Güte unseres gemeinschaftlichen Freundes, Dr. Krantz, verdanke, vorgenommen habe, gab folgende Resultate:

		Sauerstoff.	
Kupferoxyd	66,29	13,26	
Phosphorsäure	26,46	14,92	15,71
Arsensäure	2,30	0,79	
Wasser	4,04	3,58	
	99,09.		

Das Sauerstoffverhältnifs ist demnach 4 : 5 : 1 und der Libethenit ist, wie längst bekannt, dem Olivenit isomorph.

Der Phosphorochalcit von Linz a. Rh. besteht aus:

		Sauerstoff.	
Kupferoxyd	69,97	14,1	
Phosphorsäure	19,89	11,14	11,75
Arsensäure	1,78	0,65	
Wasser	8,21	7,11	
	99,85.		

Der Phosphorochalcit würde mithin, nach dem Verhältnifs von 6 : 5 : 3 mit dem Strahlerz isomorph seyn.

Dafs die Arsensäure sich in diesen Erzen ebenso verhält, wie die Phosphorsäure in den aus arsensaurem Kupferoxyd bestehenden, scheint wohl aus der allgemeinen Verbreitung derselben hervorzugehen. Ich habe Arsen in dem sibirischen Libethenit, ferner im Phosphorochalcit vom Tagilsk und Ungarn, ferner im Tagilith gefunden, und zweifle nicht daran, dafs auch die übrigen zu dieser Gruppe gehörenden Mineralien dieselbe enthalten. Selbst in dem Ehlit ist eine Spur von As vorhanden, welche in der publicirten Abhandlung noch nicht viel aufgeführt ist. Die Menge der Arsensäure scheint indessen in den verschiedenen Erzen zu variiren; so z. B. scheint mir im sibirischen Libethenit noch ein gröfserer Theil derselben Phosphorsäure zu ersetzen, als in dem ungarischen.

Allerdings ist es auffallend, dafs das sonst so leicht zu

entdeckende Arsen sich der Wahrnehmung so lange entzogen hat, und namentlich bei den Löthrohrversuchen mit diesen Mineralien sich nicht zu erkennen gab. Werden diese mit dem reducirenden Theil der Flamme in der gewöhnlichen Weise auf Kohle behandelt, so zeigt sich bei der ersten Einwirkung weder ein Arsengeruch noch Beschlag; dagegen bei fortgesetztem Blasen kommen beide zum Vorschein, viel schneller aber, wenn irgend ein reducirendes Mittel, z. B. ein wenig Zinn, beigegeben wird, oder, wenn man die Probe in der Weise behandelt, wie Plattner es zur Entdeckung geringer Mengen von Antimonsäure, namentlich der Verbindung dieser mit Kupferoxyd, beschreibt.

Viel einfacher dagegen läfst sich die Arsensäure in dem vorliegenden Falle nachweisen, wenn die Auflösung einer kleinen Probe des Minerals in den Marsh'schen Apparat gebracht wird. Arsenspiegel sind dadurch in hinreichender Menge darzustellen, um die entscheidendsten und unzweifelhaftesten Resultate mit ihnen zu erhalten.

Berichtigungen

zum Aufsatz des Dr. Zech (Bd. 102).

S. 354 in der Ueberschrift l. P. Zech st. J. Zech
S. 362 Z. 18 v. o. l. Convexlinsen st. Concavlinsen
S. 362 Z. 26 v. o. l. Polarisationsmittel st. Polarisationswinkel

Zum Aufsatz von P. van der Burg (Bd. 103).

S. 624 Z. 1 v. o. l. 2,6 Meter st 5,6 Meter
Ueberall l. Centimeter st. Decimeter.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Grünstr. 18.

1858. ANNALEN No. 6.
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND CIV.

I. *Experimentaluntersuchung über die Erscheinungen, welche die Ausbreitung von Flüssigkeiten auf Flüssigkeiten hervorruft;*

von Paul du Bois-Reymond.

Die Erscheinungen, welche sich zeigen, wenn ein Tropfen einer Flüssigkeit auf die Oberfläche einer anderen, specifisch schwereren gebracht wird, sind schon zu wiederholten Malen Gegenstand der Untersuchungen der Physiker gewesen [1]).

1) Ich werde in dieser Anmerkung die wichtigsten Arbeiten über die Ausbreitung der Flüssigkeiten anführen.

Benjamin Franklin hatte die Idee, die wellenbesänftigende Wirksamkeit des Oels zum Nutzen der Schifffahrt auszubeuten. In einem Brief an Dr. Brownring von 7. November 1773 kommt folgende Stelle vor, welche die einzige theoretische Auslassung Franklin's über die Ausbreitung enthält: »Später ging ich nie auf das Land, ohne in einer oben in meinem Bambusstocke angebrachten Höhlung etwas Oel mit mir zu nehmen, und so oft ich Gelegenheit hatte den Versuch (des Besänftigens der Wellen) zu wiederholen, fand ich ihn stets mit demselben Erfolge gekrönt. Bei diesen Versuchen setzte mich besonders ein Umstand in Erstaunen. Es war dieſs die plötzliche, weite und mächtige Verbreitung eines Tropfen Oeles auf dem Wasserspiegel, welche meines Wissens bisher noch von Niemand beobachtet worden war. Gieſst man einen Oeltropfen auf einen stark polirten Marmortisch, oder auf einen wagerecht liegenden Spiegel, so bleibt der Tropfen auf seiner Stelle und breitet sich wenig aus. Wird er dagegen auf Wasser gegossen, so verbreitet er sich alsbald mehrere Fuſs rund umher, wird so dünn, daſs er auf eine groſse Strecke in den Regenbogenfarben spiegelt, und dann immer dünner, bis er schlieſslich völlig unsichtbar wird, ausgenommen in seiner Wirkung, daſs er nämlich die Wellen bis in eine weit gröſsere Entfernung dämpft. Es scheint, daſs eine Abstoſsung zwischen seinen Theilchen stattfindet, und daſs diese Abstoſsung so stark ist, daſs sie auch auf andere auf der Oberfläche

Allein ich finde nicht, dafs das Wesen jener Erscheinungen bereits richtig erkannt worden, oder dafs man sie über-

schwimmende Körper, als Strob, Blätter, Spähne u. a. m. wirkt, und sie nöthigt, nach allen Seiten hin vor dem Tropfen, wie vor einem Centralpunkte, zurückzuweichen und einen grofsen, leeren Zwischenraum zu lassen. Ueber die Gröfse dieser Kraft und die Entfernung, bis zu der sie sich erstreckt, habe ich mir bisher noch keine Gewifsheit verschaffen können. Ich halte dieſs aber für eine sehr interessante Untersuchung, und wünsche wohl der Sache auf die Spur zu kommen.«

Die Untersuchung von Fusinieri (Brugnat. Giorn. 1821) ist mir nur aus Frankenheim's Cohäsionslehre (Dritter Theil, IV, Ausbreitung der Flüssigkeit auf der Oberfläche eines Körpers) bekannt geworden. Fusinieri hat die Reihenfolge der Substanzen, nach der Intensität ihrer Ausbreitung geordnet, richtig angegeben (Cohäsionslehre III. Th., §. 126, erste Reihe). Frankenheim schliefst daraus das Gesetz, dafs die Ausbreitung um so intensiver, je geringer die kapillare Steighöhe der Substanz sey, was im Allgemeinen übereinstimmt mit dem von mir aufgestellten, dafs die Intensität der Ausbreitung mit der Flüchtigkeit wachse. Z. B. nimmt die Gröfse $\frac{H}{g\varrho}$ (wo H die bekannte Laplace'sche Constante ist, g die Beschleunigung durch die Schwere, ϱ die Dichtigkeit) für Aether, Alkohol und Terpenthinöl nach einander die Werthe an:

5,6 6,1, 6,7,

und dieſs ist auch die Reihenfolge der drei Substanzen, wenn sie nach ihrer Flüchtigkeit und der Intensität ihrer Ausbreitung geordnet werden. Frankenheim hat ferner gefunden, dafs die Intensität der Vertreibung fast unabhängig ist von der Beschaffenheit der Unterlage, was durch meine Beobachtungen bestätigt wird.

Am meisten von den bis jetzt bekannten Ausbreitungserscheinungen hat die Wellenbesänftigung, von der im Text die Rede ist, und die Bewegung kleiner Körperchen auf Wasser das Interesse der Physiker in Anspruch genommen. Die bekannteste hierhin gehörige Erscheinung ist die Bewegung kleiner Stückchen Kampfer auf Wasser, deren wahren Grund Frankenheim in dem citirten Werke mittheilt. Alle diese Bewegungserscheinungen rühren immer von der im Texte beschriebenen Ausbreitungsströmung her. Von der Bewegung kleiner Kampferstückchen hat indessen Matteucci eine abweichende Erklärung gegeben, die mir auch bei anderen Schriftstellern hin und wieder vorgekommen ist. Weil sie auf einem principiellen Irrthume beruht, so werde ich sie hier in aller Kürze besprechen. Matteucci ist nämlich der Ansicht, die Ursache der Bewegung der Kampferstückchen sey die Verflüchtigung des Kampfers, die einen Druck dagegen ausübe. Die Ueberlegung zeigt aber, dafs die Bewegungsquantität des Kampferstücks nicht gröfser seyn

haupt schon einer methodischen Untersuchung unterworfen hätte.

Die vorliegende Abhandlung enthält die Resultate meiner Beobachtungen über diesen Gegenstand. Ich glaube, dafs man daraus das Phänomen der Ausbreitung der Flüssigkeiten von einer neuen Seite wird kennen lernen, und finden, wie bei der Mannigfaltigkeit ihres Auftretens manche räthselhafte Vorgänge, die man im gewöhnlichen Leben erblickt, sich genügend erklären lassen.

Aber es gelingt nicht die Erscheinungen der Ausbreitung vollständig auf bereits bekannte physicalische Vorgänge zurückzuführen. Der Leser wird vielmehr, wenn er aufmerksam die nachstehend mitgetheilten Thatsachen prüft, mit mir zur

kann, als diejenige des verdunsteten Kampfers. Wenn man aber bedenkt, wie langsam der Kampfer durch Verflüchtigung an Gewicht verliert, und aufserdem die übertriebensten Annahmen in Betreff der Geschwindigkeit des ausströmenden Kampfergases macht, so kommt doch durchaus keine merkliche Geschwindigkeit für das Kampferstückchen heraus, welches aber bekanntlich eine recht schnell vibrirende und drehende Bewegung zeigt. Wäre man übrigens nicht schon aus theoretischen Gründen gezwungen, den Druck durch Verflüchtigung als sehr klein anzunehmen, so würde folgendes Experiment dafür einen hinreichenden Beweis liefern. Wenn man einen leichten, wagerechten Stab an einem Coconfaden aufhängt, und am Ende des Stabes eine senkrechte Platte anbringt, die, mit Fliefspapier an der einen Seite überzogen, einseitig mit flüchtigen Substanzen genetzt werden kann, so hat man eine Vorrichtung, welche im Stande wäre, einen sehr geringen Reactionsdruck bei der Verdunstung anzuzeigen. Nun findet aber in der That nicht die geringste Bewegung des horizontalen Stabes statt, man möge das Fliefspapier mit Aether, oder mit Schwefelkohlenstoff etc. tränken.

Eine Mittheilung von H. Plateau (III. Bd. des Kosmos) ist noch zu erwähnen. Der Verfasser giebt einen Apparat an, um die Erscheinung der Farbenringe durch die Ausbreitung des Alkohols auf dem Oele stationär zu machen. Er geht jedoch nicht näher auf die Natur des Phänomens ein. Da seine Mittheilung, verglichen mit meiner ersten über diesen Gegenstand, die zur selben Zeit geschah, nichts Neues enthält, so bespreche ich sie hier nicht weiter.

Meine ersten Beobachtungen über die Erscheinungen der Ausbreitung habe ich veröffentlicht in einer Broschüre: »Untersuchungen über die Flüssigkeiten etc.« Berlin, 1854, bei P. Jeanrenaud.

Ueberzeugung gelangen, dafs man zu ihrer Erklärung neuer Hypothesen bedarf.

Wenn man einen Tropfen einer Flüssigkeit auf die Oberfläche einer anderen giefst, so sieht man von zwei Dingen immer das Eine eintreten. Entweder bleibt der Tropfen linsenförmig auf der Unterlage liegen, und bildet einen sogenannten schwimmenden Tropfen, dessen Figur Gegenstand der Theorie der Capillarität ist. Oder es beginnt eine Bewegung, die im Wesentlichen darin besteht, dafs der Tropfen sich auf der Unterlage kreisförmig mit gröfserer oder geringerer Geschwindigkeit verbreitet.

Das Erste findet statt z. B. bei Wasser auf Chloroform, bei fetten Oelen und Terpenthinöl auf gestandenem Wasser, bei geschmolzenem Schwefel auf geschmolzenem Schellack. Das Zweite beobachtet man viel häufiger. Es tritt z. B. ein, bei Alkohol und Aether auf Wasser, Oel, Glycerin.

Ich mufs übrigens gleich bemerken, dafs ein wesentlicher Unterschied besteht zwischen der Verbreitung der fetten Oele und des Terpenthinöls auf frischen Wasser, und derjenigen z. B. des Alkohols auf dem Oele. Dieser Unterschied liegt hauptsächlich darin, dafs alle Erscheinungen, welche letztere begleiten, stationär gemacht werden können, was bei der ersteren nicht möglich ist. Um auch in der Bezeichnung eine Unterscheidung eintreten zu lassen, werde ich jene: Oelausbreitung, diese: Alkoholausbreitung nennen. Ich behandele hier hauptsächlich die Erscheinungen der Alkoholausbreitung, die in zwei Abschnitten besprochen werden. Nämlich: Versuche über die Ausbreitung von Tropfen, und Versuche über die stationäre Ausbreitung.

I. Ueber die Ausbreitung von Tropfen.

Alles was die Ausbreitung von Tropfen Merkwürdiges darbietet, kann man so schön bei derjenigen des Alkohols auf dem Oel beobachten, dafs ich sie als Prototyp für die Ausbreitung der übrigen Substanzen hinstelle. Auch möge sich der Leser immer Alkohol und Oel zum Versuch gewählt

denken, wo ich nicht ausdrücklich bemerke, dafs ich mich anderer Substanzen bediente.

Es ist ziemlich gleichgültig welches Oel man wählt. Ich habe meistens mit Rüböl gearbeitet. Aber der Alkohol mufs möglichst wasserfrei seyn. Einmal, weil dann die Erscheinungen viel intensiver als bei wässerigem Alkohol sind, und dann, weil das Wasser, welches nach der Verdunstung des Abkohol zurückbleibt, das Oel bald trübe und überhaupt die Erscheinung complicirter macht.

1. Bringt man in einen dunkelen, matten Teller eine Oelschicht von etwa 8^{mm} Dicke, und legt einen Tropfen Alkohol darauf, so sieht man, während der Tropfen sich zu grofser Dünne ausbreitet, eine Vertiefung von etwa einem Millimeter entstehen. Diese Vertiefung ist tellerförmig, und wird vom Alkohol überzogen. Sie bleibt so lange, als Alkohol sichtbar ist. Ihr Daseyn erkennt man an der veränderten Spiegelung des Oeles. Wenn die Oelschicht mächtiger als 8^{mm} ist, so bleibt die Oeloberfläche an der Ausbreitungsstelle eben. Nimmt die Mächtigkeit der Oelschicht dagegen ab bis zu 3^{mm} und darüber, so wird die Vertiefung immer auffallender, bis schliefslich eine bestimmte Niedrigkeit erreicht ist, bei welcher die Oelschicht durchbrochen wird. Dann erreicht der Alkohol den Boden des Tellers, überzieht ihn, als wäre er trocken gewesen, und treibt das Oel mit wulstigem Rande vor sich hin.

Wählt man statt des festen Bodens, den das Oel im Teller hat, einen flüssigen Boden, so tritt noch ein neues Moment hinzu. Der Versuch wird am zweckmäfsigsten auf folgende Weise angestellt. Man gieſst Oel in einen Glaskasten bis es eine Schicht von 8^{mm} bildet und läfst dann Wasser vermöge eines Hebers langsam unter das Oel fliefsen. Das Wasser hebt das Oel allmählich bis zum oberen Rande des Glaskastens. Durch dieses Verfahren hat man erreicht, dafs die Trennungsfläche der beiden Flüssigkeiten sehr gut in der Projection zu sehen ist, weil nunmehr sich das Oel tangirend an die Wände des Glaskastens anschliefst, was nicht der Fall ist, wenn

das Oel auf das Wasser gegossen wird. Um die zu beschreibenden Versuche noch deutlicher in die Augen springen zu lassen, kann man das Wasser auch dunkel färben.

Wenn man, nachdem diese Vorkehrungen getroffen sind, einen Tropfen Alkohol auf die Oberfläche des Oels fallen läfst, und zunächst nur auf diese achtet, so bleibt das Phänomen ungefähr dasselbe. Die Vertiefung ist ein wenig geringer. Bei einer gewissen Dicke des Oels wird es durchbrochen, der Alkohol gelangt auf die Oberfläche des Wassers, und versetzt sie in eine tumultuarische Bewegung. Man stelle aber das Auge so, dafs die Oelschicht in seitlicher Projection erscheint, d. h. dafs man zwischen ihrer oberen und ihrer unteren Begränzungsfläche hindurchsieht. Dann findet man, dafs, sobald der Tropfen auf das Oel gebracht wird, die Trennungsfläche von Oel und Wasser aufhört eben zu seyn, indem sich das Wasser unter der Ausbreitungsstelle beulenartig emporhebt, und in diesem Zustande verharrt, bis die letzte Spur Alkohol von der Oberfläche verschwunden ist. Diese Beule erhebt sich unter günstigen Umständen bis 5^{mm} und darüber. Ist die Oelschicht von geringerer Dicke, so findet man auch, dafs bei der Durchbrechung das Oel von oben her wenig eingedrückt wird, und dafs vielmehr das Wasser sich bis an die Oberfläche des Oels erhebt. Bei guter seitlicher Beleuchtung der Oelschicht entdeckt man ferner im Oele eigenthümlich gewundene Streifen anderer Brechbarkeit, die an der Peripherie der Ausbreitung beginnen, sich dort spiralig winden, und bei genauerer Beobachtung eine wirbelnde Bewegung im Oele verrathen.

Um der Vorstellung zu Hülfe zu kommen, habe ich in Fig. I Taf. II das Profil der Oelschicht an der Ausbreitungsstelle abgebildet. *W* ist das Wasser, *OO* das Oel, *p* der Punkt, wo der Alkohol aufgetragen wurde, und *ss* sind die Streifen. Die Pfeile deuten die Richtung der Bewegung des Oels an.

2. Dieſs ist im Wesentlichen der Vorgang, welcher die Alkoholausbreitung charakterisirt. Man sieht sofort ein, dafs zwei Punkte unser Interesse in Anspruch nehmen. Einmal

der Umstand, dafs ein Tropfen sich ausbreitet. Dann die mechanischen Wirkungen, welche diese Ausbreitung im Oele hervorruft. Was diese mechanischen Wirkungen betrifft, so erklären sie sich leicht aus der Voraussetzung, dafs der Alkohol bei seiner Ausbreitung die Oberfläche des Oels mit sich fortreifst. Da diefs nämlich nach allen Richtungen hin, von dem Punkte aus, wo der Tropfen aufgetragen wird, geschieht, so mufs von untenher Oel zuströmen, und, wenn die Oelschicht niedrig ist, so wird es nöthig seyn, dafs das von unten nach oben strömende Oel von allen Seiten längs des Bodens ersetzt werde. So entstehen die Strömungen, welche ich in Fig. 2 Taf. II durch Pfeile angedeutet habe. Dort ist wieder *p* das Centrum der Ausbreitung. Die Streifen sind offenbar Wirbel, die deshalb stattfinden, weil wegen der Zähigkeit des Oels die Strömungen nicht weit von der Ausbreitungsstelle vordringen können, so dafs die entfernteren Oelmassen sich ähnlich einer festen Wand verhalten. Daher deuten diese Streifen an, dafs die Strömungen geschlossene Curven sind, was ich in Fig. 2 Taf. II durch die Pfeile *dd* versinnliche. Ein horizontalliegender Oelring, der sich in der Art in sich selbst wälzt, dafs seine Theilchen in Verticalebenen kreisen, liefert die klarste Vorstellung von dieser Gattung von Strömungen. Die Vertiefung an der Oberfläche und die Wasserbeule sind nothwendige Folgen einer solchen Bewegung. Letztere entsteht weil durch die senkrechte Strömung der Druck auf die Trennungsfläche von Oel und Wasser verringert wird; erstere weil wegen der inneren Reibung des Oels der senkrechte Strom das centrifugal fortgerissene Oel nicht vollständig ersetzen kann.

Man kann sich übrigens leicht durch Versuche von der Richtigkeit dieser Erklärung überzeugen. Wenn man nämlich nicht ganz reines Oel nimmt, so gelingt es bei einiger Aufmerksamkeit, die beschriebene Bewegung an fortgerissenen Staubkörnchen in allen ihren Theilen zu verfolgen. Aufserdem tritt alsbald Stillstand ein, wenn man die Bewegung der Oberfläche durch einen aufgesetzten Glasring hemmt. Bläst man endlich durch eine feine Spitze auf die

Oberfläche des Oels, so erhebt sich unter der dadurch erzeugten Vertiefung ein Wasserberg, der dem Umstande seine Entstehung verdankt, dafs die Luft, welche gegen die Oberfläche trifft, sie beim Auseinanderweichen mit sich fortreifst, und so ähnliche Strömungen wie die Ausbreitung des Alkohols veranlafst. [1])

Diese Erklärung einmal festgestellt, werde ich die Erscheinung bei verschiedenen Flüssigkeiten beschreiben, und einige Versuche besprechen, die mir defshalb interessant zu seyn scheinen, weil sie, sonst verwickelter Natur, mit Hülfe dieser Theorie sich leicht begreifen lassen.

3. Bei der Ausbreitung des Alkohols wird ein Newton'sches Ringsystem sichtbar. Man sieht etwa drei Ringe, und am äufsersten Rande eine Zone die dem Schwarz entspricht. Ich werde an einer anderen Stelle auf die verschiedenen Zonen dieser Ausbreitung zurückkommen. Aufser bei der Ausbreitung von Alkohol auf Oel habe ich Ringe beobachtet nur noch bei derjenigen von Aether auf Glycerin, oder von Aether und Wasser, welches durch darin aufgelöste Substanzen zähe gemacht worden ist, und bei der Oelausbreitung.

Die letztere Erscheinung ist bekannt. Sie tritt immer ein, wenn man Oeltropfen auf frisches Wasser giefst. Der Durchmesser der Ausbreitung des Aethertropfens auf Glycerin beträgt etwa einen Centimeter und kann durch Zugiefsen von Aether vergröfsert werden. Der sich ausbreitende Aether ist in der Mitte linsenförmig verdickt, und hat am Rande eine 2^{mm} breite Zone, in der man mit der Lupe sechs bis sieben Farbenringe unterscheidet. Aether und Terpenthin auf Oel zeigen unter keinen Umständen Ringe, ebenso wenig Aether und Alkohol auf Wasser.

Für das Auftreten der Ringe ist es erforderlich, dafs die sich ausbreitende Substanz mit der Unterlage in beschränktem Verhältnifs mischbar ist, und demnach eine getrennte Schicht bildet. Allein diefs reicht nicht aus. Denn Aether und Wasser vermischen sich nur innerhalb gewisser

1) Ich habe die Entstehung dieser Oberflächenveränderungen ausführlicher erörtert in meinen »Untersuchungen über die Flüssigkeiten etc.«

Gränzen, ohne dafs deshalb bei der Ausbreitung von Aether auf Wasser Ringe bemerkbar wären. Diese Ausbreitung ist aber sehr tumultuarisch, worin um so mehr der Grund des Wegbleibens der Ringe zu suchen ist, da die Ausbreitung von Aether auf einer etwas zähen Auflösung von Zucker in Wasser (verdünnter Syrup) Ringe zeigt, und überhaupt viel Aehnlichkeit mit der Ausbreitung von Aether auf Glycerin besitzt.

Die Erscheinung der Ausbreitung ist um so reiner und schärfer ausgeprägt, je weniger die angewandten Flüssigkeiten sich vermischen. Bei der Ausbreitung von Alkohol auf Oel wird sehr viel Alkohol vom Oele aufgenommen. Aether und Wasser vermischen sich noch mehr. Es scheint mir daher die Ausbreitung von Aether auf Glycerin wegen der geringen Mischbarkeit beider Flüssigkeiten zum Studium der Ausbreitungserscheinungen am besten sich zu eignen. Auch würde ich ihr meine ungetheilte Aufmerksamkeit geschenkt haben, hätte ich sie nicht leider erst entdeckt, nachdem die vorliegende Untersuchung fast vollendet war.

4. Wenn man die Ausbreitung des Aethers, des Alkohols und des Terpenthinöls auf fetten Oelen vergleicht, so fällt es auf, dafs die erstere bei weitem rapider vor sich geht, als die beiden anderen, die zweite aber merklich schneller als die letzte. Es ist mifslich von der Intensität der Ausbreitung zu sprechen, so lange man kein bestimmtes Maafs dafür hat. Es ist aber wohl unzweifelhaft, dafs die Geschwindigkeit der Bewegung der Oberfläche und das Volum der Wasserbeule und der Vertiefung, noch bevor man mit dem wahren Grunde der Erscheinung bekannt ist, ein Urtheil über die bei der Ausbreitung frei werdende lebendige Kraft begründen. Dann aber finde ich, dafs, wofern die Beschaffenheit der Unterlage Ausbreitung gestattet, deren Intensität um so gröfser ausfällt, je flüchtiger die angewandte Substanz ist. Ich habe dieses Gesetz ohne Ausnahme bestätigt gefunden bei denjenigen Flüssigkeiten, bei welchen die Unterschiede der Flüchtigkeit hinreichend grofs sind, um ohne Weiteres in die Augen zu springen.

Feinere Unterscheidungen sind nicht anzustellen, weil der Begriff: Intensität der Ausbreitung von Tropfen, wie bemerkt, noch etwas vage ist. Da man ferner auf derselben Unterlage die Ausbreitung von nur zwei bis drei Flüssigkeiten beobachten kann, so kann man nicht wohl eine tabellarische Uebersicht der Intensität geben. Die Unterlagen, deren ich mich bedient habe, sind: Wasser, wässerige Lösungen, Glycerin, fette und flüchtige Oele, Säuren. Die Ausbreitungsflüssigkeiten waren: Schwefelkohlenstoff, ätherische Flüssigkeiten, Alkohole, flüchtige Oele, Säuren. Es hat sich aber herausgestellt, dafs die Reihenfolge der Ausbreitungsflüssigkeiten, nach der Intensität geordnet, unabhängig von der Unterlage ist.

5. Aus dem obigen Gesetze kann man schliefsen, dafs die Intensität der Ausbreitung mit der Temperatur wachsen mufs, und dieser Schlufs ist richtig. Darauf gründen sich zwei Versuche, von denen einer bei der stationären Ausbreitung zur Sprache kommen wird, der andere hier. Man findet nämlich, dafs ein heifser Tropfen einer Flüssigkeit auf die Oberfläche derselben, aber nicht erwärmten Flüssigkeit gebracht, sich dort ebenfalls ausbreitet, und dieselben mechanischen Effecte erzeugt, als z. B. Alkohol auf Oel.

Da bei diesem wie bei vielen anderen Versuchen das Stattfinden einer Ausbreitung nur durch die mechanischen Wirkungen innerhalb des Oeles wahrgenommen werden kann, so ist es zweckmäfsig, diese durch eine passende Vorrichtung der Beobachtung bequem zugänglich zu machen. Ich empfehle folgende (Fig. 3 Taf. II). Ein Glasrohr *gg* von etwa 8^{mm} lichter Weite ist durch die Wachsstäbchen *dd* in der Axe des Becherglases *B* befestigt. Man gieſst dunkelgefärbtes Wasser (Tinte) bis *rr*, und darüber Oel in das Rohr *gg* und um dasselbe bis *nn*, so dafs das Rohr $\frac{1}{2}^{mm}$ bis 1^{mm} unter dem Niveau *nn* bleibt. Wenn auf den Punkt *p* eine ausbreitungsfähige Substanz gebracht wird, so ist der Ersetzungsstrom in das Rohr eingeschlossen, und bewirkt sofort eine Bewegung der Kuppe *k*.

Mit dieser Vorrichtung gelingt nun sehr leicht folgender Versuch. So wie man den Punkt *p* mit einem heifsen Glasstab berührt, oder einen heifsen Oeltropfen darauf fallen läfst, findet alsbald eine sehr deutliche Hebung der Kuppe statt, was nicht der Fall ist bei einem kalten Glasstab oder Tropfen. Statt Oel kann auch Terpenthin, Aether etc. genommen werden.

6. Den Ausbreitungsflüssigkeiten analog erzeugen auch Dämpfe, die sich niederschlagen, Ausbreitungen und die daraus entspringenden mechanischen Effecte. Wenn eine Flasche mit Aether so geneigt wird, dafs die Aetherdämpfe herausfliefsen und man läfst sie auf eine etwa 3^{mm} bis 4^{mm} dicke, auf Wasser befindliche Oelschicht fallen, so nimmt man an der Oberfläche des Oels nichts wahr. Aber die Oberfläche des Wassers geräth in eine eigenthümlich wogende Bewegung. Ich erkläre diese Erscheinung so. Die Aetherdämpfe werden vom Oele aufgenommen, und dieses Gemisch bildet an der Oeloberfläche unregelmäfsige Ausbreitungen, die das Wogen der Trennungsfläche von Oel und Wasser erzeugen. Diese Erklärung wird dadurch sehr plausibel, dafs in der That ein Gemisch von wenig Aether und viel Oel eine Ausbreitung vermöge des Apparates (Fig. 3 Taf. II) verräth.

7. Der Erörterung werth ist noch die Erscheinung der Vertreibung von gewissen Flüssigkeiten durch andere auf festen Unterlagen, und zwar deshalb, weil sie bisher falsch gedeutet worden ist.

Um die Ideen zu fixiren, kann man sich wieder Alkohol und Oel auf Glas denken. Wenn bei der Ausbreitung auf einer dünnen Oelschicht der Alkohol sie durchbricht, oder wenn ein Alkoholtropfen neben einen Oeltropfen gelegt wird, so sieht man allemal den Alkohol das Oel mit wulstigem Rande vor sich hertreiben. Man erklärt diese Erscheinung immer so, als ob der Alkohol in Folge seiner gröfseren Attraction zum Glase das Oel von demselben vertreibe. Diese Erklärung ist aber unrichtig. Die Erscheinung ist verwickelter.

Fig. 4 Taf. II sey *O* das Oel, *A* der Alkohol. Das Oel und der Alkohol theilen sich ein in die 180° des gestreckten Winkels bei α auf der Glasoberfläche *GG*, nach den bekannten Gesetzen der Capillarität. Darin liegt noch kein Grund zur Bewegung. Es sind vielmehr drei Umstände vorhanden, welche eine Fortbewegung des Oels veranlassen können.

Einmal die Krümmung des Oelrandes von a bis p, die in das Oel hineindrückt. Wenn man sich vorstellt, dafs ein Oeltropfen auf einer festen Ebene ruht, und sich tangirend an sie anschliefst, wie Quecksilber an Glas unter Oel, so dafs die Form des Tropfens nur durch die Schwere und die Wirkung auf sich selbst des Oels bestimmt wird, wenn endlich der Halbmesser des Tropfens sehr grofs ist, so finde ich, dafs seine Dicke seyn würde 5,52^{mm} [1]). Die Oelschichten, bei denen die Vertreibung gut gelingt, sind aber dünner. Daher könnte man vermuthen, dafs bei dem Vorrücken des Oelrandes die Capillarität in sofern thätig ist, als die Krümmung derselben in das Oel hineindrücken würde, bis jene Dicke erreicht ist.

Die zweite denkbare Ursache der Bewegung ist folgende. Man nehme an, Alkohol und Oel ruhten auf einer Glasplatte, durch eine dünne Scheidewand getrennt. So wird die Anziehung des Glases gegen beide Flüssigkeiten den Druck in der Nähe des Bodens vermehren, und zwar in derjenigen

1) Die Dicke eines sehr grofsen in der beschriebenen Weise auf einer festen Ebene ruhenden Tropfens ist $2\sqrt{\frac{H}{g\varrho}}$, wo ϱ die Dichtigkeit der Flüssigkeit, g die Schwere, und H die bekannte Laplace'sche Constante bedeutet. Die Erhebung des höchsten Punktes über den äufsersten Punkt des Randes ist nämlich gleich derjenigen dieses äufsersten Punktes über den tiefsten, und hat den Werth $\sqrt{\frac{H}{g\varrho}}$. Bei 18°R. stieg das Rüböl, dessen ich mich bediente, zu einer Höhe von 17,7^{mm} in einer Röhre von 0,861 lichter Weite, woraus für $\frac{H}{g\varrho}$ der Werth 7,61 und für $\sqrt{\frac{H}{g\varrho}}$ der Werth 2,76 folgt.

Flüssigkeit am meisten, die am stärksten angezogen wird. Unter der Annahme, diese Flüssigkeit sey der Alkohol, wird die Scheidewand vom Alkohol stärker gedrückt wie vom Oel, so dafs, würde sie plötzlich entfernt, jener dieses verdrängen müfste [1]).

Die dritte Veranlassung zur Bewegung ist die Ausbreitung des Alkohols. Sie erzeugt bei p eine Strömung im Sinne des Pfeils. Da die in Folge dessen eintretende Ersezzungsströmung im Sinne des anderen Pfeils einmal die entgegengesetzte bei p in der Nähe, und aufserdem die Reibung am Glase zu überwinden hat, so vermag sie nicht soviel Oel zuzuführen, als die Ausbreitungsströmung fortreifst. Der Oelrand mufs also vorwärts rücken. Man bemerkt übrigens auch auf dem Oelrande ganz regelmäfsig die Farbenringe der Ausbreitung.

Welcher von den drei Ursachen der Vorrang gebührt, oder ob sie vielleicht alle thätig sind, kann nur das Experiment und genaue Beobachtung entscheiden.

Es zeigt sich, dafs die letzte allein wirksam ist. Wenn nämlich Vertreibung mit Farbenringen auf dem Oelrande stattfindet, und man giefst mehr Alkohol hinzu, so hört sie sofort auf. Ueberhaupt jedes Manöver wodurch die Ausbreitung vom Rande des Oels mehr auf die ebene Oberfläche verlegt wird, unterbricht alsbald die Vertreibung. Die bei-

1) Wenn man nur die Anziehung des Glases berücksichtigt, deren senkrechte Compenente Z sey, und deren horizontale Componenten verschwinden, so ist nach der hydrostatischen Grundgleichung: $dp = Zdz$; und wenn von $z = \infty$ bis $z = z$ integrirt wird, so wird der Druck in der Höhe z über der Glasplatte $p = \int_{\infty}^{z} Zdz$. Zwei Schichten Flüssigkeit, die durch eine senkrechte Ebene von einander getrennt sind, könnten also nur dann im Gleichgewicht seyn, wenn $\int_{\infty}^{z} Z_1 dz = \int_{\infty}^{z} Z_2 dz$, wo Z_1 und Z_2 die senkrechten Componenten der Anziehung des Glases gegen beide Flüssigkeiten vorstellen. Wenn man indessen die Wirkungen der Flüssigkeiten auf sich selbst, wie es in der Ordnung ist, einführt, so mufs man auf die Grundsätze der Capillarität fallen, wodurch der entsprechende im Texte angedeutete und gewöhnlich angenommene Grund der Bewegung problematisch wird.

den ersten Gründe hätten nach wie vor Geltung. Auch verbreitet sich der Alkohol über eine Glasplatte langsamer frei, als wenn er einem Oeltropfen begegnet. Dieſs wäre aus den zuerst angeführten Gründen unerklärlich, während man sich sehr leicht vorstellen kann, daſs der energische, plötzlich beginnende Vorgang der Ausbreitung solche Erscheinungen zur Folge hat.

Endlich ist die Reihenfolge nach welcher die Flüssigkeiten sich vertreiben, unabhängig von der Beschaffenheit der Unterlage und dieselbe wie bei der Ausbreitung. So wird Wasser durch Aether und Alkohol vom Steinsalz, vom Eise, etc. vertrieben.

Jene beiden ersten Ursachen werden vielleicht bisweilen Bewegungen veranlassen. Aber bei dem Vorgang der Vertreibung sind sie unwirksam, und er ist vielmehr nur Aeuſserung des Ausbreitungsprincips.

Ich glaube nun die Haupterscheinungen, welche mit der Alkoholausbreitung zusammenhängen, beschrieben, und, soweit als thunlich, zergliedert zu haben. Viele merkwürdige Bewegungserscheinungen, welche bei der Wechselwirkung von mehreren Flüssigkeiten und festen Körpern eintreten, finden vermöge der dargelegten Principien leicht ihre Erklärung, und ich werde mich nicht länger dabei aufhalten. Dahin gehört unter andern die Bewegung mit irgend einer Ausbreitungsflüssigkeit getränkter Körper auf der Oberfläche anderer Flüssigkeiten, der Kampf zweier Ausbreitungen mit einander, u. s. w.

8. Von der Alkoholausbreitung unterscheidet sich die Oelausbreitung einmal durch den bereits erwähnten Umstand, daſs sie sich nicht stationär machen läſst, und dann durch ihren allgemeinen Typus.

Man schildert sie am besten, wenn man sagt, daſs das Oel sehr schnell die Tropfengestalt verliert, und zu einem hautartigen Ueberzug wird, welcher die ganze dargebotene Wasserfläche bedeckt. Sobald dieſs aber geschehen ist, zieht sich der Ueberzug wieder zu einzelnen »Augen« zusammen, und nun kann keine Oelausbreitung mehr stattfinden. Son-

dern ein Oeltropfen, den man auf eine solche Wasserfläche gießt, behält seine Linsenform, oder verändert sie doch nur äußerst langsam, indem er mit der schon vorhandenen Oelhaut verfließt. Ob die Oelhaut sich deßhalb in Augen auflöst, weil in der dünnen Membran kein stabiles Gleichgewicht herrschte, oder ob bei dem Vorgang der dünnen Vertheilung eine Veränderung in der Substanz des Oels und der Wasseroberfläche stattfindet, ist eine Frage, die ich offen lassen muß.

Folgende leichter zu übersehende Erscheinung verbreitet vielleicht einiges Licht über diesen Punkt. Ein Tropfen Terpenthinöl, auf das erste Schwefelsäurehydrat gegossen, breitet sich sehr schnell aus zu einem Durchmesser von zwei bis drei Centimeter, darauf zieht er sich aber fast eben so schnell zur Linsengestalt zusammen, und man entdeckt bei näherer Betrachtung, daß bereits die chemische Einwirkung stattgefunden hat. Der Tropfen breitet sich also aus, wird schwarz, und zieht sich wieder zusammen. In diesem Fall hat evident die chemische Veränderung des Terpenthinöls seine Gestaltveränderung zur Folge, indem sie eine Variation der Werthe der Anziehungen des Terpenthinöls gegen sich selbst und des Terpenthinöls gegen die Schwefelsäure hervorruft.

Im Gegensatz zur Oelausbreitung nimmt die Alkoholausbreitung sehr bald einen bestimmten Durchmesser an, behält ihn eine geraume Zeit hindurch, und erscheint dann als ein so stationärer Bewegungszustand, daß selbst die Wasserbeule mehrere Secunden lang ihre Höhe nicht verändert. Dabei sind fast durchgängig zwei Zonen der Ausbreitung sichtbar, nämlich in der Mitte eine verdickte Stelle, die gleichsam als Magazin dient, von dem aus die Substanz sich auf der Unterlage verbreitet, und um diese verdickte Stelle die Zone in welcher die Farbenringe auftreten und die der Sitz der Kraft zu seyn scheint, welche die mechanischen Effecte der Ausbreitung erzeugt. Die Oelausbreitung hingegen ist ein plötzlicher Vorgang, welcher, ohne je einen stationären Charakter auszunehmen, dauert, bis das Oel den

Umfang der dargebotenen Wasserfläche erreicht hat, wobei die Farben alsbald auf der ganzen Ausbreitungsstelle, deren Mitte eingeschlossen, zu sehen sind.

9. Die Oelausbreitung hat schon seit Plinius die Augen der Naturforscher auf sich gelenkt, wegen einer höchst seltsamen Erscheinung, die sie veranlafst, ich meine die Wellenbesänftigung. Die kleinen scharfgrathigen, kräuselnden Wellen, die dem Steuermann das Herannahen eines Windstofses durch dunkle Färbung der Wasserfläche verkünden, sind es, an denen man jene Erscheinung am Besten beobachtet: wenige Tropfen, auf eine so bewegte Wasserfläche gegossen, reichen aus um sie vollkommen eben erscheinen zu lassen.

Ich kenne nur zwei Erklärungsversuche der Wellenbesänftigung. Der eine rührt von Benjamin Franklin her, der andere von Frankenheim.

Frankenheim vermuthet der Grund des Aufhörens des Wellenschlags liege einfach darin, dafs das Oel beständig von den Wellenbergen in das Wellenthal fliefse, und so durch eine Art fortgesetzten Widerstandes, die Wellenbewegung, welche im Pendeln der Wassertheilchen bestehe, allmählich vernichte.

Allein, selbst wenn die Wellenbesänftigung auch nicht so plötzlich einträte, dafs der Gedanke an die allmähliche Wirkung eines Widerstandes verworfen werden mufs, so würde mir diese Erklärung schon deshalb nicht zusagen, weil das Oel bei seiner Verbreitung über den Wasserspiegel eine Schicht bildet, deren Dicke von der Ordnung der Wellenlänge des Lichts ist, welche demnach, ihrer geringen Masse wegen, derartige mechanische Wirkungen nicht würde hervorrufen können.

Franklin erklärt die Dämpfung des Wellenschlags folgendermafsen. Er nimmt an, dafs die Reibung zwischen Luft und Oel geringer sey, als zwischen Luft und Wasser. Da man die Wellen gewissermafsen als Falten der Wasserfläche ansehen könnte, welche durch Reibung der Luft am Wasser entstehen, so sey es denkbar, dafs durch das Oel

die Oberfläche des Wassers, ähnlich den aneinander schleifenden Theilen einer Maschine, geschmiert würde. So könne der ölige Ueberzug die Wasseroberfläche vor dem Faltigwerden schützen.

Diese Vorstellung kann zwar richtig seyn, und die Wellenbesänftigung zum Theil erklären. Sie kann den Umstand begreiflich machen, dafs die Wellenbesänftigung längere Zeit anhält, wenn diese Beobachtung richtig ist. Ueberhaupt würde daraus folgen, dafs auf einer mit Oel überzogenen Wasserfläche Wellen schwerer, als auf einer gewöhnlichen, entstehen.

Aber das plötzliche Ebenwerden des Wasserspiegels, welches ebenso schnell fortschreitet, wie die Oelausbreitung selbst, ist damit nicht erklärt. Der Grund der Wellenbesänftigung scheint vielmehr in dem Vorgang der Ausbreitung selbst zu liegen.

Schon Franklin hatte bemerkt, dafs die Oelausbreitung leichte, an der Oberfläche des Wassers schwimmende Körperchen mit einer gewissen Intensität vom Centrum der Ausbreitung fortstofse. Es ist diefs nichts anders als der Ausbreitungsstrom, dessen Wirkungen ich bei der Alkoholausbreitung besprochen habe. Durch die Ausbreitung des Oeles wird die Oberfläche des Wassers fortbewegt. Die gekräuselten Wellen, welche sich zur Beobachtung der Wellendämpfung am besten eignen, sind scharfkantig und nicht hoch. Die scharfe Kante nimmt der Ausbreitungsstofs sofort hinweg, und die Fortbewegung der Wasseroberfläche verwandelt die Bahnen der schwingenden Wassertheilchen aus Ovalen mit senkrechter grofser Axe in Linien, die fast mit dem Spiegel des Wassers zusammenfallen. Wenn nun die Beobachtung richtig ist, nach welcher eine solche Wasserfläche längere Zeit eben bleibt, und sie nicht auf irgend einer Täuschung durch den veränderten Glanz beruht, so kann man die Franklin'sche Hypothese beibehalten, um diesen zweiten Theil der Erscheinung zu erklären. Indessen vermuthe ich, dafs in der That nur der andere Glanz der Wasserfläche an der mit Oel bedeckten Stelle und der

Umstand, dafs der Wellenschlag nicht augenblicklich wieder eintreten kann, den Grund der scheinbar anhaltenden Wellendämpfung enthalten.

Versuche mit künstlich erregten Wellen habe ich der vorgerückten Jahreszeit wegen nicht fortsetzen können. Man hat dabei mit zweierlei Schwierigkeiten zu kämpfen. Einmal reichten die geringsten Spuren öliger Substanzen, die an den Wasserspiegel gelangen, aus, um diesen mit einer Haut zu überziehen, welche zwar unsichtbar ist, aber der Ausbreitung einen grofsen Theil ihrer Intensität raubt. Zweitens haben künstlich erregte Wellen keine scharfe Kanten, und sind an sich schon ziemlich lang, was die Wirkung der Oelausbreitung unscheinbar macht. Nichts destoweniger habe ich einige Mal mit Bestimmtheit eine besänftigende Wirkung beobachtet. Ich glaube deshalb nicht auf das Detail dieser Versuche eingehen zu dürfen, weil ich dabei noch keine hinreichende Sicherheit des Erfolgs erreicht habe.

10. Ich habe eingangs bemerkt, dafs ein Tropfen einer Flüssigkeit auf die Oberfläche einer anderen gegossen, entweder einen schwimmenden Tropfen oder eine Ausbreitung bilde. Diefs kann präciser gefafst werden. Je nachdem der Winkel, den seine freie Oberfläche mit der gemeinsamen Oberfläche des Tropfens und der Unterlage einschliefst, gröfser oder kleiner ist, wird der Durchmesser des schwimmenden Tropfens kleiner oder gröfser seyn. Ist dieser Winkel Null, so wird der Durchmesser unendlich, d. h. die aufgetropfte Flüssigkeit breitet sich zu einer Haut aus. Da gemeiniglich der Tropfen, den man aufträgt, bevor er die Unterlage berührt, nahebei kugelförmig ist, so mufs er sich so lange ausbreiten, bis er den ihm zukommenden Durchmesser erreicht hat. Dieser Durchmesser wird unter andern dadurch bestimmt, dafs die Meridiancurve des Tropfens keinen Wendepunkt haben darf. Es läfst sich leicht zeigen, dafs kein Gleichgewichtszustand eintreten kann, so lange sie einen solchen besitzt.

Nach der Laplace'schen Theorie ist bekanntlich der Druck den ein Element der Oberfläche der Flüssigkeit, durch

die Attraction der Flüssigkeit gegen sich selbst erfährt, zusammengesetzt aus zwei Theilen; der eine, K ist über die ganze Oberfläche constant, wirkt wie der atmosphärische Druck, und braucht hier nicht berücksichtigt zu werden. Der andere Theil, auf den es hier ankommt, ist proportional der Summe der beiden reciproken Hauptkrümmungshalbmesser. Dabei sind die Krümmungshalbmesser positiv gerechnet, wenn die Krümmung concav gegen die Flüssigkeit ist, und sie in die Flüssigkeit hineingehen, negativ, wenn die Krümmung convex gegen die Flüssigkeit ist, und sie aufserhalb liegen; der eine positiv der andere negativ, wenn ein Normalschnitt concav und der andere convex ist. Für das Gleichgewicht ist es erforderlich, dafs in jedem Canal, der an zwei Stellen der Oberfläche mündet, Gleichgewicht herrscht, d. h dafs die Wirkung der Schwere und der Krümmung sich gegenseitig aufheben.

Fig. 5 Taf. II sey der Querschnitt eines schwimmenden Tropfens, dessen Meridiancurve bei i einen Wendepunkt haben soll. Zwischen a und i sind beide Krümmungshalbmesser positiv, der volle Druck ist nach Innen gerichtet. Es sey α_1 ein Punkt zwischen a und i. Von α_1 nach r zu mufs für das Gleichgewicht die Summe der reciproken Krümmungshalbmesser stets wachsen. Denn legt man z. B. den Canal $\alpha_1 \delta\alpha_2$, so wird der Druck bei δ im Sinne des Pfeils noch vermehrt um das Gewicht des Canals $\alpha_1 \delta$. Diese Forderung erfüllt aber die vorliegende Gestalt des Tropfens nicht. Denn über i hinaus wird der Krümmungshalbmesser der Meridiancurve negativ, während derjenige des darauf senkrechten Normalschnitte stets zunimmt, sein reciproker Werth also abnimmt. Wenn bei r der Winkel φ Null ist, so verschwindet dort vollständig der Gegendruck gegen d_1, und man sieht ein, dafs der Tropfen sich bis zur Ebene abflachen mufs.

Durch diese Bemerkung erklärt sich die Oelausbreitung vollkommen befriedigend. Auch jene Erscheinung der Ausbreitung und Zusammenziehung des Terpenthinöls auf der Schwefelsäure ist begreiflich, denn man hat nur anzunehmen,

dafs durch die chemische Einwirkung der Winkel φ einen gröfseren Werth erhält. Ja, alle bisher mitgetheilten Erscheinungen der Alkoholausbreitung würden ebenfalls daraus unschwer abzuleiten seyn, sobald man sich nur die Ueberzeugung verschafft hätte, dafs der capillare Druck die mechanischen Effecte hervorzurufen die hinreichende Wirksamkeit besitze.

Allein der neue Gesichtspunkt, dafs die Alkoholausbreitung stationär gemacht werden kann, macht die obige Erklärung ungenügend. Die Alkoholausbreitung kann nämlich in der Weise stationär gemacht werden, dafs erstens der Wendepunkt fortfällt, und dafs zweitens die Oberfläche unbeweglich wird. Das Erstere beseitigt die gegebene Erklärung, dafs Zweite überhaupt jede Erklärung mit Hülfe des Laplace'schen capillaren Drucks.

Für die Oelausbreitung übrigens, da sie nicht stationär gemacht werden kann, reicht jene Erklärung immerhin aus, und es ist kein Zweifel, dafs auch bei der Alkoholausbreitung von Tropfen der capillare Druck eine Rolle spielt, denn der Winkel φ ist bei allen Substanzen, welche diese Erscheinung zeigen, entweder Null oder doch sehr klein, und die Gestalt (Fig. 5) ist, wie ich gezeigt habe, keine Figur capillaren Gleichgewichts.

II. Stationäre Ausbreitung.

Sie entsteht wenn man aus einem Alkoholbassin mit constantem Niveau den Alkohol durch eine Röhrenleitung aus einer feinen Spitze auf die Oberfläche des Oels fliefsen läfst. Dabei kann man das Rohr, welches an der Oberfläche des Oeles mündet, von unten her durch das Oel, oder von oben bis an die Oberfläche führen.

Da es für die zu beschreibenden Versuche häufig nöthig war, die Ausflufsmengen zu messen, so habe ich einen Apparat construirt, der sich als practisch erwiesen hat. Den Apparat werde ich im Beginn dieses Capitels beschreiben, um mich im Laufe desselben darauf beziehen zu können.

Er besteht aus zwei wesentlichen Theilen, die in Fig. 6

(*A* und *B*) und Fig 7. Taf. II dargestellt sind. Fig. 6 ist das Alkoholreservoir, Fig. 7 die Röhrenleitung. Das Alkoholreservoir ist ein prismatisches vierseitiges Messingrohr *R R*, von 33 Centimeter Länge und 2,16 Quadratcentimeter Querschnitt. Bei *s* ist ein Gelenk, vermöge dessen es aufrecht gestellt werden kann in die Lage $R_1 R_1$. *U* ist die Oeffnung, durch welche es gefüllt wird, und die während des Versuches geschlossen bleibt durch einen Kork, in den eine Glasröhre mit einer engen Oeffnung eingesetzt ist, um bei möglichst geringer Verdunstung Luft in das Reservoir eintreten zu lassen. *mm* ist ein Wasserstandsmesser, welcher mit dem Alkoholreservoir communicirt, aber stets senkrecht steht, so dafs er den Stand des Alkohols bei horizontaler sowohl, wie bei verticaler Stellung des Reservoir *RR* anzeigt. *B* ist dieser Apparat von oben gesehen. *mm* ist wieder der Wasserstandsmesser. Bei *s* und g_1 sind bewegliche Glieder; bei g_1 beginnt die Röhrenleitung. Dieser Reservoirapparat ist senkrecht verschiebbar an dem Stabe *t* (s. *A*), der vermöge eines schweren Fufses *F* fixirt ist. Die Röhrenleitung Fig. 7 Taf. II beginnt bei S_1 mit einem Messingrohr $g_1 g_2$, in welchem zwei Hähne H_1 und H_2 angebracht sind. H_2 hat das Geschäft die Röhrenleitung zu öffnen oder zu schliefsen. Der Hahn H_1, mit einem langen Hebelarm versehen, dessen Ende auf der Scale *z* läuft, dient zur feinen Einstellung, um die Ausflufsmengen nach Willkühr sehr wenig variiren zu können. Vom beweglichen Gliede $g_1 g_2$ ab ist die Röhrenleitung von Glas, hat noch bewegliche Glieder bei g_3 und g_4, wo das Gelenkstück durch einen Retortenhalter befestigt ist. Bei *r* kann man beliebige Ausflufsöffnungen ansetzen. Auf die Gestalt der Ausflufsöffnungen selbst kommt wenig an. Ich benutze ein Messingrohr, an welches konische Ansatzröhren von verschieden grofser Oeffnung (0,1^{mm} bis 1,0^{mm}) angeschraubt werden können. Der Arm des Retortenhalters wird bei *m* durch eine Schraubenführung, die in der Zeichnung nicht weiter angedeutet ist, auf und nieder bewegt zur feinen Einstellung der Spitze *r*. Die Glieder $g_2 g_3 g_4$ erfüllen einen dreifachen Zweck. Einmal machen sie es möglich das Alkoholre-

servoir am Stabe t auf und nieder zu schieben ohne die Röhrenleitung von g_4 ab zu bewegen. Zweitens dienen sie dazu, die Ausflufsöffnung beim Reinigen des Apparats tief unter das Niveau zu bringen, und der Röhrenleitung bei der Füllung mit Alkohol diejenige Stellung zu ertheilen, bei welcher jeder folgende Punkt über dem vorhergehenden steht, wodurch das störende Zurückbleiben von Luftblasen in der Röhrenleitung vermieden wird.

Die Ausflufsmengen werden folgendermafsen gemessen. In der Horizontalstellung von RR ist die Oberfläche des Alkohols sehr grofs im Vergleich zum Querschnitt des Reservoirs, so dafs z. B. das Niveau nur um 1^{mm} zu fallen braucht, um in der senkrechten Stellung um 22^{mm} zu fallen. Da es mir auf Bestimmung der Druckhöhen d. h. der Höhendifferenzen zwischen dem Spiegel des Alkohols und der Ausflufsöffnung nicht ankam, so wählte ich sie 15 Centim. und verringerte die Geschwindigkeit dadurch, dafs ich in allen Gelenken Baumwollenpfropfen anbrachte, die zugleich den Alkohol filtrirten. Dann blieb die Geschwindigkeit für Niveaudifferenzen, wie sie in der horizontalen Stellung möglich waren, constant, während ich die Ausflufsmengen bei der senkrechten Stellung auf $0{,}1^{mm}$ genau ablesen konnte. Die Reihenfolge der Operationen war nun folgende. Zuerst wurde H_2 geöffnet und H_1 eingestellt, so, wie es der Versuch verlangte. Dann wurde H_2 geschlossen, das Reservoir in die Lage R_1R_1 gebracht, der Stand des Alkohols am Wasserstandsmesser mm abgelesen, das Reservoir wieder horizontal gestellt und der Hahn H_2 geöffnet. Nachdem darauf während einer bestimmten Zeit Alkohol ausgeflossen war, wurde H_2 wieder geschlossen, und der Stand bei senkrechter Stellung des Reservoirs am Wasserstandsmesser abgelesen.

Zuerst werde ich nun ein genaues Bild der stationären Ausbreitung entwerfen, und dann werde ich die Versuche beschreiben in der Reihenfolge, in welcher sie angestellt worden sind.

11. Ist die Ausflufsöffnung $\frac{1}{7}^{mm}$ bis 1^{mm} über der Oelober-

fläche angebracht, so hat die Meridiancurve des Alkohols die Gestalt (Fig. 8 Taf. II) welche keinen Wendepunkt darbietet und sehr wohl eine capillare Gleichgewichtsoberfläche seyn kann. Mündet sie unter der Oberfläche, indem die Röhrenleitung durch das Oel von untenher bis an die Oberfläche geführt wird, so ist die Meridiancurve schwach trichterförmig eingedrückt.

Wenn man dünne Oelschichten auf Wasser anwendet, sieht man, wie bei der Ausbreitung von Tropfen, Vertiefung und Beule, und kann sie so lange erhalten, als man will.

Man kann die Ausbreitung asymmetrisch machen dadurch, dafs man im Oele ein Hindernifs für den Ausbreitungsstrom anbringt in Form einer senkrecht aufgestellten Platte, die nicht bis an die Oberfläche reicht, deren Ebene aber, verlängert, die Ausbreitung in einer Sekante schneiden würde. Dann ist der Kreis eingedrückt an der Stelle, wo sich die Platte befindet.

12. Die Reihenfolge der Ringe ist natürlich die umgekehrte wie im Newton'schen Experiment, weil die Alkoholschicht nach der Peripherie hin an Dicke abnimmt. Statt des Schwarz fängt die Schicht mit einem eigenthümlichen Braungrau an, welches gleichsam in Fetzen gerissen auseinander läuft. Dieses zerfetzte Ansehen wird sehr deutlich bei gehemmter Verdunstung, wovon noch ausführlicher die Rede seyn wird. Bis zu dieser Zone vom Centrum aus ist die Alkoholschicht zusammenhängend und erst dort erscheint sie so zerrissen. Ich vermuthe das der Alkohol hier zu seiner dünnsten Vertheilung gelangt ist, und dafs er zerreifst, weil seine Beschaffenheit keine dünnere Vertheilung auf einer Ebene gestattet. Nach dem Grau kommt, eine schmalere Zone als dieses bildend, bläulich weifs, das übrigens ziemlich intensiv blau ist, und darauf in rascher Aufeinanderfolge die übrigen Farben des ersten Ringes. Dem Centrum etwas näher sieht man zuweilen noch den zweiten Ring, sehr selten vollständig, aber Violet und Blau ziemlich häufig. Es hängt dieſs von Umständen ab, die ich noch erörtern werde. Auf das Ringsystem folgt bis zum Centrum der Ausbreitung eine

Zone, welche ich die körnige nenne, weil sie, von unten durch das Oel gesehen, den Eindruck macht, als wäre sie mit feinem Sande bedeckt. Diese Zone ist besonders schön bei der Ausbreitung des Aethers auf Oel zu sehen, wo sie den ganzen Durchmesser einnimmt, weil keine Farbenringe gegenwärtig sind.

Endlich sieht man bei genauer Beobachtung jenseits des Grau eine schwache aber ganz scharfe Falte in der Oelobersläche, welche die Stelle zu seyn scheint, wo die Ausbreitungsströmung in das Oel eindringt. Die Distanzen dieser Zonen vom Centrum giebt Fig. 8 Taf. II. I ist der Anfang des ersten Ringes, II der Uebergang von Blau in Grau, III das Ende des Grau, IV die Falte.

Eine interessante Frage ist noch die nach der Geschwindigkeit in den verschiedenen Zonen. Der Augenschein lehrt, dafs sie nach der Peripherie hin zunimmt. Genaue experimentelle Bestimmungen dürften schwerlich zu machen seyn. Wenn man indessen leichte Körperchen in die Gegend des Centrums der Ausbreitung wirft, so sieht man, wie sie ziemlich träge durch die körnige Zone geführt werden, in die Gegend der Ringe angelangt, aber einen starken Impuls erhalten, der sie weit von der Peripherie der Ausbreitung hinwegschleudert. Ich schätze die Geschwindigkeit dieses Stofses bei Aether auf mehrere Fufs. Bei Alkohol ist sie etwas geringer.

Diefs sind Bemerkungen, welche sich bei Beobachtung der stationären Ausbreitung sofort aufdrängen. Ich wende mich nun zur Untersuchung der Wirkung der Diffusion und Verdunstung auf die Ausbreitung.

13. Dieser Untersuchung liegt ein Experiment zu Grunde, welches ohne den beschriebenen Apparat angestellt wurde. Es ist für die Theorie der Ausbreitung von Wichtigkeit, weil es eine unzweideutige Entscheidung liefert in Betreff des Einflusses der Verdunstung und Diffusion. Man bedarf zu diesem Experiment eines runden Gefäfses mit ebenem Rande welches bedeckt werden kann mit einer planen, rechteckig geschnittenen Glasplatte. Diese Glasplatte mufs in der Breite

etwas gröfser wie der Durchmesser des Gefäfses, in der Länge aber mindestens doppelt so grofs seyn. In dieses Gefäfs bringt man mit Alkohol vollkommen gesättigtes Oel, überzogen von einer dünnen Schicht reinen Alkohols. Man bedeckt das Gefäfs mit der Glasplatte so, dafs der überragende Theil derselben es noch einmal bedecken könnte, und wartet nun eine Weile bis die Luft über dem Alkohol mit seinen Dämpfen gesättigt ist, was nach einer halben Stunde zweifelsohne stattfindet. Dann nimmt man das Gefäfs mit Daumen und Zeigefinger beider Hände, schüttelt es einen Augenblick, und zieht den reinen Theil der Glasplatte darüber, so dafs man die Oberfläche des Oels beobachten kann. Nun sieht man bei geeigneter Stellung des Auges, die Tropfen Alkohol, welche an die Oberfläche gelangen, Ausbreitungen mit Farbenringen bilden, die zwar deutlich sichtbar aber etwas verwaschen sind. Diefs Spiel dauert eine Weile, bis sich die Oberfläche des Oels wieder mit Alkohol bedeckt hat. Nun kann man den überragenden Theil der Glasplatte reinigen, wieder schütteln, und das gereinigte Ende der Glastafel über das Gefäfs ziehen. Dann tritt genau dieselbe Erscheinung ein, und es läfst sich der Versuch beliebig oft wiederholen, und stets mit demselben Resultat. Man thut gut das Gefäfs so wenig wie möglich zu berühren, um den Verdacht nicht aufkommen zu lassen, als könnte die Erwärmung durch die Hände die Luft und das Oel in den Stand setzen, noch etwas Alkohol aufzunehmen.

Dieses Experiment beweist mit aller Strenge, dafs die Ausbreitung noch stattfindet, wenn kein Alkohol mehr verdunsten oder diffundiren kann. Was den Gehalt des Oels an Alkohol betrifft, so bemerke ich gleich, dafs er wenig Einflufs auf die Ausbreitung besitzt. Während die Verdunstung, werde sie gehemmt oder gefördert, ihr einen anderen Charakter verleiht.

14. Um die Wirkung der Verdunstung bei der stationären Ausbreitung zu studiren, gab ich der Röhrenleitung die Fig. 7 Taf. II r_1 abgebildete Form, d. h. ich leitete das

Ausflufsrohr durch den Boden des Gefäfses *F*, und von unten her an die Oeloberfläche. Das Gefäfs *F* war oben abgeschliffen und konnte luftdicht verschlossen werden mit der Glasplatte *pp*.

Wenn man die Glasplatte aufgelegt hat, und sie von der Oeloberfläche etwa $1\frac{1}{2}^{cm}$ entfernt ist, so sieht man den Durchmesser der Ausbreitung allmählich wachsen, und den Rand des Gefäfses erreichen, worauf keine Ausbreitung mehr stattfindet. Dann fliefst der Alkohol auf dem Oele aus, und bedeckt es als Schicht. Wenn man aber den Hahn H_1 fortwährend so einstellt, dafs der Rand des Gefäfses nicht erreicht wird, so erhält man schliefslich eine stationäre Ausbreitung bei gehemmter Verdunstung. Ich habe, da der Versuch etwas schwierig ist, dabei keine zuverlässige Messung anstellen können. Mit einiger Sicherheit vermag ich anzugeben, dafs in einem Falle der Durchmesser des Blau des ersten Ringes bei gehemmter Verdunstung 6^{cm}, ohne Glasplatte aber nur 2^{cm} betrug.

Wie lange dieser stationäre Zustand anhält kann ich nicht sagen. Einmal habe ich ihn 5 bis 6 Stunden dauern sehen. Dabei war die Luft so gesättigt mit Alkohol, dafs die Glasplatte *pp*, wo man sie mit Aether befeuchtete, sofort beschlug, und beschlagen blieb.

War der Abstand der Oeloberfläche von der Glasplatte sehr gering, z. B. 3^{mm}, so wirkte auffallender Weise das Auflegen der Glasplatte fast momentan auf den Durchmesser der Ausbreitung. Ich kann mir unmöglich denken, dafs die Luft so schnell gesättigt wurde. Vielmehr vermuthe ich, dafs während der Ausbreitung ähnliche Strömungen in der Luft wie im Oele existiren, deren Effect dann wäre, immer solche Luft zuzuführen, die noch Alkohol aufnehmen kann. Die plötzliche Unterbrechung dieser Strömungen kann sehr wohl augenblicklich die Verdunstung hemmen, indem sie die Fortführung der bereits mit Alkohol geschwängerten Luft verhindert.

Der Unterschied der Ausbreitung bei gehemmter und ungehemmter Verdunstung besteht, aufser im vergröfserten

Durchmesser, noch in der Verwaschenheit der Farbenringe, deren dann zwei deutlich zu sehen sind, und in der Abschwächung der mechanischen Wirkungen. Damit will ich nicht sagen, dafs die gesammte Arbeit verringert werde. Die Geschwindigkeit fällt aber geringer aus, weil gröfsere Oelmassen zu bewegen sind. Das Grau nimmt bei gehemmter Verdunstung einen fast ebenso grofsen Theil des Durchmessers ein, als die übrigen Zonen zusammen genommen, und zeigt in hohem Grade jenes zerrissene Ansehen, von dem schon die Rede war.

15. Wenn indessen die Verdunstung durch irgend ein Mittel gefördert wird, etwa durch Blasen auf die Ausbreitung, so nimmt deren Durchmesser augenblicklich bedeutend ab, die Farbenringe mehren sich, und sind markirter.

16. Da die Verdunstung mit der Temperatur zunimmt, so hat man von der Anwendung heifsen Oeles ähnliche Erscheinungen zu erwarten. In der That, wenn man heifses Oel auf die Ausbreitungsstelle gieſst, und die ersten unregelmäfsigen Bewegungen in der Masse des Oels aufgehört haben, so schrumpft die Ausbreitung zusammen, und es bildet sich ein sehr markirter und schmaler Ring. Jenseits des Grau sind dann zwei Falten, statt Einer, zu sehen, deren Bedeutung mir übrigens ganz unbekannt ist. Die mechanischen Wirkungen erscheinen verstärkt, wie sie abgeschwächt waren bei gehemmter Verdunstung.

17. Die Intensität der Bewegungserscheinungen erreicht aber ihr Maximum, sobald die sich ausbreitende Substanz angezündet wird. Die Ausbreitung des Alkohols schrumpft augenblicklich um mehr als die Hälfte zusammen, und die Bewegung der Oeloberfläche wird äufserst rapide. Ueber dem Kreise der Ausbreitung schwebt in einer Höhe von etwa 2^{mm} die Alkoholflamme. Sie ist von regelmäfsiger, konischer Gestalt, und, wenn ihre Basis 3^{cm} nicht übersteigt, sehr ruhig. Am Verbrennungsproceſs nimmt das Oel nicht den geringsten Antheil, wie dieſs das reine Blau der Flamme beweist. Durch die Flamme hindurch sieht man an der Peripherie der Ausbreitung die Farbenringe, deren wohl drei bis vier sehr

schmale zum Vorschein kommen. Vergröfsert man durch Oeffnen des Einstellungshahns die Basis, so wird die Ausbreitung unregelmäfsiger und die Flamme geräth in schwankende Bewegung. Die Ausbreitung des Aethers oder eines Gemisches von Aether und Alkohol brennt mit weifsgelblicher Flamme. Mit diesem Gemisch kann man folgenden Versuch anstellen, der für die Theorie deshalb wichtig ist, weil er lehrt, wie bedeutend die Strömungsgeschwindigkeit im Oele durch das Anzünden der Ausbreitung erhöht wird. Ich liefs die Ausflufsöffnung nicht unmittelbar unter der Oeloberfläche münden, sondern etwa 8^{mm} tiefer. Nun öffnete ich den Einstellungshahn so weit, dafs jenes Gemisch tropfenweise an die Oberfläche stieg, und zwar in der Menge, dafs die Basis der Flamme etwa 3^{cm} betrug. Dann bemerkte ich, dafs wenn die Ausbreitung brannte, das Gemisch in einem continuirlichen Strahl aufstieg, der etwa zwei Millim. von der Ausflufsöffnung eine Contraction von der Hälfte des Durchmessers zeigte. Die Ausflufsöffnung hatte $0{,}8^{mm}$ Durchmesser, der Strahl ungefähr $0{,}4^{mm}$. Wurde die Flamme ausgeblasen, so löste sich der Strahl augenblicklich in Tropfen auf. Diese Erscheinung ist aber erst zu sehen, wenn das Oel schon heifs ist, was man am bequemsten dadurch erzielt, dafs man die Ausbreitung einige Zeit lang mit grofsem Durchmesser brennen läfst. Nimmt man jedoch über einer Lampe gleichmäfsig erwärmtes Oel, und vermeidet unregelmäfsige Bewegungen und Erschütterungen desselben, dann gelingt es den Strahl bis $1\frac{1}{2}^{cm}$ lang zu erhalten. Wenn man während des Versuches die Strömungen im Oele an fortgerissenen Staubkörnchen beobachtet, so erkennt man die Zunahme der Geschwindigkeit leicht an dem Umstande, dafs bei angezündeter Ausbreitung die Strömungen kaum mehr mit dem Auge verfolgt werden können.

Durch diese Untersuchung war der grofse Einflufs der gehemmten oder geförderten Verdunstung auf die Erscheinungen der Ausbreitung festgestellt. Das Resultat ist kurzgefafst folgendes. Der Durchmesser der Ausbreitung ist um so kleiner, die Ringe sind um so schmaler und markirter,

d. h. die Alkoholschicht ist nach der Peripherie zu um so abschüssiger, je mehr der Alkohol sich verflüchtigen kann. Ferner: die Intensität der mechanischen Effecte nimmt mit der Temperatur zu.

Ich gehe nun über zur genaueren Untersuchung der Abhängigkeit des Durchmessers der Ausbreitung von den verschiedenen Factoren die darauf Einfluſs haben mögen: Die Ausflufsmenge, die Ausflufsgeschwindigkeit, die Verdunstung, die Diffusion in das Oel. Die Temperatur und die Reibung im Oele werde ich in dieser Untersuchung nicht weiter berücksichtigen.

18. Ueber jene Abhängigkeit verbreitet eine naheliegende Relation einiges Licht. Man denke sich nämlich einen Gürtel in der Ausbreitung in der Entfernung r vom Mittelpunkte. Dann muſs die durch diesen Gürtel flieſsende Alkoholmenge, vermehrt durch die innerhalb des Gürtels verdunstende und diffundirende gleich der Ausflufsmenge seyn, alles auf die Zeiteinheit bezogen. Es sey s das specifische Gewicht des Alkohols, m die Ausflufsmenge in Grammen, h die Dicke der Alkoholschicht, v deren Geschwindigkeit für den Halbmesser r, $2\pi\varphi(r)rdr$ und $2\pi\varphi_1(r)rdr$ die in der Zone mit dem Halbmesser r und von der Breite dr verdunstende und diffundirende Alkoholmenge, so ist:

$$m = 2\pi s r h v + 2\pi \int_0^r \varphi(r) r dr + 2\pi \int_0^r \varphi_1(r) r dr$$

Ueber die Functionen φ und φ_1 läſst sich *a priori* nichts bestimmen. Indessen wird sich später zeigen, wie man ohne sie zu kennen, eine Relation für den Durchmesser der Ausbreitung finden kann. In v steckt einmal die Ausbreitungsgeschwindigkeit, insofern sie an der Oberfläche durch unbekannte Ursachen erzeugt wird, und dann der Antheil, welcher von der Ausflufsgeschwindigkeit herrührt.

Es ist wichtig zu untersuchen, wie weit sich der Einfluſs der letzteren erstreckt. Denn man könnte vermuthen, daſs, wenn der Alkohol an die Oberfläche tritt, und eine stationäre

Ausbreitung entsteht, er von der sofort gebildeten capillaren Oberfläche, wie von einer festen Wand eingeschlossen, abfliefst, durch sein eigenes Gefälle, und nur durch dieses, getrieben.

19. Ich stellte eine erste Versuchsreihe an mit einem Oelbassin von 14^{cm} Durchmesser und 8^{cm} Tiefe. Es wurden die zu gewissen Durchmessern der Ausbreitung gehörigen Ausflufsmengen mit dem eingangs beschriebenen Apparat und nach dem angegebenen Verfahren bestimmt. Die Durchmesser habe ich mit einem Zirkel gemessen. Diefs war am bequemsten, weil es die Beurtheilung der zu messenden Stelle sehr erleichtert, wenn man den ganzen Kreis der Ausbreitung vor Augen hat. Die Hand war unterstützt, und ich tauchte die Zirkelspitzen geradezu in das Oel. Dabei wichen, wenn die Ausbreitungen recht ruhig waren, meine Messungen selten mehr wie um 0,2^{mm} von einander ab.

In folgenden vier Tabellen stehen unter r die Durchmesser des Uebergangs von Blau in Grau, unter m die zu den r gehörigen Ausflufsmengen in 10 Minuten und in Grammen.

I		II		III		IV	
m	r	m	r	m	r	m	r
0,40	14,5	0,53	19	0,27	9,0	0,43$_4$	15,8
0,88	22,5	1,04	28	0,38	13,5	0,85$_5$	22
1,3	29,5	1,52	38	0,62	18	1,52$_4$	33
2,01	41	2,20	51			1,21$_5$	43

Die Tabellen I, II und IV lehren, dafs m mit r sehr nahe proportional ist.

Die Tabelle III zeigt, wie für sehr kleine Ausflufsmengen im Anfang r als Function von m rasch ansteigt bis zu einem gewissen Werthe, worauf es in die durch die anderen Tabellen bestimmte Gerade übergeht.

Die Tabelle IV entscheidet die Frage, welchen Einfluſs die Ausflufsgeschwindigkeit auf den Durchmesser habe. Die Ausflufsmengen nämlich, welche mit dem Index k behaftet sind, strömten aus einer kleinen, die durch den Index g bezeichneten aus einer gröfseren Ausflufsöffnung. Die grö-

ſsere hat 1,0^{mm} die kleinere 0,1^{mm} Durchmesser. Es verhielten sich also bei gleicher Ausfluſsmenge die Geschwindigkeiten wie 1 zu 100. Wenn nun die zu diesen Ausfluſsmengen gehörigen Durchmesser ein und derselben geraden Linie angehörten, so war damit offenbar bewiesen, daſs die Ausfluſsgeschwindigkeit keinen merklichen Einfluſs auf den Durchmesser hat, und demnach gar nicht in dem v der mitgetheilten Formel vorkommt. Diesen Beweis liefert die Tab. IV vollständig, denn die zwei auf die beiden Ausfluſsöffnungen bezüglichen Werthepaare schlieſsen sich ebenso gut, wie die beiden ersten Reihen (Tabelle I und II) einer geraden Linie an.

Aus diesem Gesetze, daſs »der Durchmesser der Ausbreitung nur von der Ausfluſsmenge und nicht von der Ausfluſsgeschwindigkeit abhängt,« geht hervor daſs »die Kraft, welche die mechanischen Effecte der Ausbreitung hervorruft, erst auf der Oberfläche des Oels entsteht,« was übrigens schon durch den Einfluſs der Temperatur auf ihre Intensität in hohem Grade wahrscheinlich gemacht worden war.

Die lineare Beziehung zwischen Ausfluſsmenge und Durchmesser machte mich besorgt, es möchte irgend ein Umstand bei den Versuchen nicht gehörig berücksichtigt worden seyn, weil ich nicht glaubte annehmen zu dürfen, daſs die Functionen φ und φ_1 die Form $\frac{c}{r}$ und $\frac{c_1}{r}$ haben könnten. Es konnte nun das Oelbassin nicht hinreichend groſs seyn, und die Ausbreitungsströmung sich an der Wand gebrochen haben, wodurch in der That die Relation zwischen m und r wäre verändert worden.

20. Um in jeder Beziehung sichere Resultate zu erlangen, unternahm ich eine zweite Versuchsreihe mit einem gröſseren Oelbassin. Dieses Bassin hatte ungefähr $2\frac{1}{7}$ Fuſs Durchmesser und 4 Zoll Tiefe. Die damit angestellten Beobachtungen waren viel umfangreicher, als die früheren, weil ich die Durchmesser von 5 Zonen bestimmte, und gröſsere Ausbreitungen anwandte. Die fünf Zonen waren: Der Anfang des zweiten Ringes vom Mittelpunkt aus, der Anfang des ersten Ringes, das Blau, das Ende des Grau, die Falte.

Ich theile beispielsweise folgende Tabelle mit. Es stehen unter *m* wieder die Ausflufsmengen in 10 Minuten, und in Grammen.

	m	II. Ring	I. Ring	Blau	Grau	Falte
I.	0,60		28,5	33	40,5	50,5
II.	1,04		42,3	48,7	58	73
III.	1,25		50	58	68	83
IV.	1,90		69	79	92	109
V.	2,59	82	90	102	116	138

Diese zweite Versuchsreihe zeigt, dafs in der That zwischen den Gränzen der früher mitgetheilten Versuchsreihen die Relation zwischen *m* und dem Durchmesser des Blau sehr nahe linear ist. Die Curve, welche *r* als Function von *m* darstellt, ist für den zweiten Ring und Blau sehr schwach gekrümmt, für Grau und die Falte schon mehr.

Um das Gesetz dieser Curven durch Interpolation zu finden, sind die Beobachtungen nicht ausreichend. Die Krümmung ist so schwach, dafs ein Ausdruck zweiten Grades überhaupt vollkommen genügen mufs, um, der Genauigkeit der Beobachtungen entsprechend, die Curven darzustellen. An die Verfolgung dieses Gegenstandes knüpft sich auch kein rechtes Interesse, weil der Proceſs der Verdunstung an einer in dieser Weise bewegten Alkoholfläche vermuthlich zu complicirt ist, als dafs man hoffen könnte, dessen Theorie zu finden.

21. Ich hatte bei der Anwendung eines so grofsen Oelbassins noch den Zweck, zu versuchen, bis zu welcher Gränze man den Durchmesser der Ausbreitung vergröfsern könne. Um die gröfseren Durchmesser (in der Tabelle etwa von der Reihe III an) herzustellen, mufs man die Ausbreitung durch allmähliches Oeffnen des Einstellungshahns sehr langsam wachsen lassen. Sonst verbreitet sich der Alkohol in unregelmäfsigen Flecken über die Oberfläche des Oels. Für ihr Zustandekommen ist also offenbar das Vorhandenseyn der Ausbreitungsströmung im Oele erforderlich. Zu einer Tageszeit wo keine Erschütterungen der Oelmasse stattfanden, und wenn man mit grofser Geduld die angegebene

Vorsicht beobachtete, gelang es einige Male eine Ausbreitung von 16 Centimeter Durchmesser zu erreichen.

Diese umfangreiche Farbenerscheinung in dem geschwärzten Oelbassin bietet einen prachtvollen Anblick dar.

22. Am Ende der grauen Zone ist die Dicke h der Alkoholschicht Null, und es mufs also der Werth des Durchmessers des äufsersten Grau nur von der Beschaffenheit der Functionen φ und φ_1 abhängen. Nimmt man in einer ersten Annäherung an, dafs von der Ausbreitungsoberfläche ebensoviel verdunstet, wie von einer gewöhnlichen Oberfläche, und vernachlässigt das auf φ_1 bezügliche Integral rechter Hand, so wird die Relation zwischen m und r:

$$m = \alpha \pi R^2,$$

wo α diejenige Alkoholmenge bedeutet, die von der Flächeneinheit in der Zeiteinheit verdunstet, und R den Halbmesser des äufsersten Grau bezeichnet.

Es schien mir wichtig zu untersuchen, wie sich der durch diese Formel bestimmte Verdunstungscoëfficient zu dem direct gemessenen verhielte.

23. Allein bei der directen Bestimmung desselben hat man mit gewissen Schwierigkeiten zu kämpfen. Wenn man nämlich ohne Weiteres die in der Zeiteinheit verdunstete Alkoholmenge mifst, so findet man bald, dafs ihr Werth stark von der Zeit abhängt, während welcher die Verdunstung geschah. Diefs lehrt z. B. folgende Tabelle, in welcher die erste Columne die auf die Zeitdauer von 10 Minuten reducirten und von einer Oberfläche von 45,2 Quadratcentimeter verdunsteten Alkoholmengen in Milligram. enthält, die zweite T die wirkliche Zeitdauer der Verdunstung in Minuten, und die dritte t die Temperatur angiebt.

	Mgr.	T	t
I.	289	30	16° C.
II.	319	13,6	16
III.	251	42,1	15,7
IV.	341	13	16
V.	285	23	16
VI.	280	16	15,4

Die gutstimmenden Werthe I und V zu Grunde gelegt, würde man 0,0063 als Verdunstungscoëfficienten des Alkohols bei 16° C. für 10 Minuten, den Quadratcentimeter und das Gramm als Einheiten erhalten.

24. Die aus dem Durchmesser der Ausbreitung berechneten Verdunstungscoëfficienten sind aber Werthe ganz anderer Ordnung. Wenn man in der zweiten Tabelle die Ausbreitungen I, IV und V und zwar den Durchmesser des Grau und der Falte benutzt, um die Verdunstungscoëfficienten zu berechnen, so folgt:

	Grau	Falte
I.	0,042	0,027
IV.	0,030	0,021
V.	0,024	0,017

An diesen berechneten Verdunstungscoëfficienten fällt zweierlei auf. Erstens, dafs sie alle viel gröfser sind, wie jener direct bestimmte, und zweitens, dafs sie mit wachsendem Durchmesser der Ausbreitung abnehmen.

Man kann annehmen, dafs die Diffusion hinreichend Alkohol fortführt, um die Differenz der beiden Verdunstungscoëfficienten zu bedingen. Da ferner ihre Einwirkung mit dem Durchmesser der Ausbreitung vermuthlich zunimmt, so kann man schliefsen, es folge daraus die Abnahme der berechneten Verdunstungscoëfficienten.

Allein ich glaube nicht, dafs diefs die richtige Erklärung sey. Sie würde die Consequenz enthalten, dafs der meiste Alkohol vom Oele aufgenommen wird, was nicht der Fall ist. Ich nahm ein kleines Oelbassin, erzeugte darin eine stationäre Ausbreitung, die fast die ganze Oberfläche bedeckte, und liefs den Alkohol so lange ausströmen, bis er, wäre er vom Oele aufgenommen worden, es zweimal hätte sättigen können. Aber dieses Oel, wie ich es mit Alkohol schüttelte, verschluckte noch eine beträchtliche Menge davon.

Ich glaube vielmehr der Hauptgrund jener Differenz der Verdunstungscoëfficienten ist zu suchen in den Luftströmungen, deren Existenz eine weiter oben angeführte sonderbare Erscheinung schon hatte vermuthen lassen. Man mufs sich

denken, dafs in der Luft eine ähnliche Strömung wie im Oel stattfindet. Darum, weil diese Strömung fortdauernd frische Luft zuführt, kann mehr Alkohol verdunsten, und darum, weil die nach dem Centrum der Ausbreitung absteigende und nach dem Umfang zu abfliefsende Luft bei gröfseren Ausbreitungen über eine gröfsere Alkoholfläche zu streichen hat, wird sie, bald mit Alkoholdämpfen geschwängert, weniger Alkohol fortführen können, woraus sich die Abnahme der Verdunstungscoëfficienten erklärt.

Es ist somit anzunehmen, dafs der berechnete Verdunstungscoëfficient in der Mitte liegen wird zwischen jenem direct gemessenen, und dem Verdunstungscoëfficienten, den man erhalten würde, wenn der Alkohol in einem Strome von frischer Luft verdunstete. Dafs diefs richtig sey, wird man aus den später mitzutheilenden Zahlen ersehen.

Um eine befriedigende Uebereinstimmung zwischen beiden Verdunstungscoëfficienten zu erzielen, schlug ich nun folgendes Verfahren ein.

25. Es ist bereits erwähnt worden, dafs man durch Blasen auf die Ausbreitungsstelle den Durchmesser der Ausbreitung verringern könne. Es schien mir unzweifelhaft, dafs der Verdunstungscoëfficient, den man erhalten würde, durch eine so zusammengeschrumpfte Ausbreitung und derjenige, welcher aus der Ermittelung des unter der Einwirkung eines Gebläses verdunsteten Alkohols folgt, identisch seyn müfsten. Eine erste Versuchsreihe bestätigte diefs nicht. Diefs lag jedoch daran, dafs die Verwandtschaft des Alkohols zum Wasser auf alle solche Erscheinungen sehr störend einwirkt.

Ich war deshalb gezwungen, trockene Luft anzuwenden. Zu dem eingangs beschriebenen Apparate kam also noch ein kräftiges Gebläse hinzu, welches die Luft durch ein Chlorcalciumrohr in einem 8^{cm} breiten Strome auf die Oberfläche des Oels trieb. Die Wirkung der trockenen Luft konnte man schon daran erkennen, dafs die Ausbreitung nicht, wie sie sonst zu thun pflegt, jenseits der grauen Zone Ringe absetzte, die aus kleinen Wasserbläschen bestehen, und deren Gröfse sonst nicht so sehr vom Gehalt an Wasser des

Alkohols, als vielmehr von der Feuchtigkeit der Luft abhängt. Die Ausbreitung schrumpfte also im trockenen Luftstrom noch mehr zusammen, wie im feuchten. Auch der direct gemessene Verdunstungscoëfficient war gröfser.

Ich theile hier eine Tabelle mit, in welcher wie früher unter m die Ausflufsmengen in 10 Minuten und in Grammen stehen, unter R die zu diesen Ausflufsmengen gehörigen Durchmesser des äufsersten Grau. Die Temperatur war 19° C.

	m	R	R^2
I.	1,04	1,4	1,96
II.	2,34	2,25	5,06
III.	2,77	2,50	6,25
IV.	5,19	3,5	12,2

Die Abhängigkeit von m von R läfst sich sehr genau darstellen durch die Relation:

$$m = 0{,}130\,\pi R^2 + 0{,}225.$$

Der Verdunstungscoëfficient des Alkohols, den ich direct fand, indem ich den unter dem Einflufs des Gebläses verflüchtigten Alkohol bestimmte, betrug im Mittel aus drei Messungen 0,131.

Hierbei wurde die Vorsicht angewendet, die Verdunstung nur sehr kurze Zeit dauern zu lassen, denn die starke Abkühlung des Alkohols (in drei Minuten fällt das Thermometer von 20° auf 12°) bewirkt, dafs die Verdunstungscoëfficienten um so kleiner gefunden werden, je länger der Versuch dauert.

Man erkennt übrigens den grofsen Einflufs der bewegten Luft auf die Verdunstung aus der Vergleichung dieser Zahlen. Der Verdunstungscoëfficient in bewegter Luft ist 20 mal so grofs wie derjenige in ruhiger Luft.

26. Auf diese Weise sind die beiden Verdunstungscoëfficienten, der direct gemessene, und der durch die Ausbreitung bestimmte in Einklang gebracht.

Das erste Glied rechter Hand jener Relation ist, wie es verlangt wurde: $\alpha\pi R_2$ und α hat für Alkohol von 97 Proc.,

für 19° C. und für den Quadratcentimeter, das Gramm, 10 Minuten als Einheiten den Werth 0,130.

Das zweite Glied enthält den Einfluſs der Diffusion. Es ist auffallend, daſs dieſs Glied unabhängig von R wenigstens zwischen den Gränzen jener Versuche zu seyn scheint.

Theoretisch ist die Diffusion folgendermaſsen in die Relation für den Durchmesser einzuführen. Jenseits der grauen Zone vor der Falte ist noch eine ziemlich breite Zone, in der man an der Oberfläche nichts wahrnimmt, auſser dann und wann einen weit vordringenden Fetzen der grauen Zone. In der Gegend der Falte versenkt sich die bewegte Oberfläche in die innere Oelmasse und bildet dort den beschriebenen Wirbel, den man an den sich drehenden Streifen erkennt. Diese Streifen sind also die Fortsetzung der Oberfläche zwischen der grauen Zone und der Falte und stellen eine dünne, mit Alkohol gesättigte Oelschicht vor. Es sey der in dieser Schicht enthaltene Alkohol vom Oele getrennt gedacht und ebenfalls eine Schicht bildend. Ihre Dicke sey δ, ihre Geschwindigkeit in der grauen Zone v, so wird der vollständige Ausdruck für den Durchmesser der Ausbreitung in bewegter, trockner Luft:

$$m = \alpha \pi R^2 + 2\pi s \delta v R.$$

Es hängt nun v ohne Frage von R ab, aber δ wahrscheinlich nicht, weil selbst bei den gröſsten Ausbreitungen die Oeloberfläche den Weg vom Mittelpunkte nach der Peripherie in zu kurzer Zeit zurücklegt, als daſs der Diffusionsstrom merklich in das Innere dringen könnte. Hieraus und aus der Constanz des Gliedes $2\pi s \delta v R$ folgt, daſs v mit zunehmendem R abnimmt, und zwar zwischen den Gränzen der mitgetheilten Beobachtungen nahezu mit R reciprok ist. Die Abnahme von v ist übrigens ohne Weiteres an fortgerissenen Staubkörnchen zu sehen.

27. Man sieht nun auch, daſs der Durchmesser der Ausbreitung ziemlich unabhängig von der Unterlage ist. Wenn man die obige Relation umkehrt, so ergiebt sich:

$$R = 1{,}56\sqrt{m} - \frac{0{,}178}{\sqrt{m}}.$$

Das zweite Glied rechter Hand, welches von der Diffusion abhängt, führt, wenigstens für etwas gröfsere Ausbreitungen (von 3 Centimeter Durchmesser an) nur Unterschiede von einem Millimeter etwa herbei. Wenn demnach bei Flüssigkeiten, deren Mischbarkeit diejenige von Alkohol und Oel nicht übersteigt, der Durchmesser der Ausbreitung fast unabhängig von der Unterlage ist, so mufs er es um so mehr seyn, bei solchen Flüssigkeitspaaren wie Aether und Glycerin, welche sich sehr wenig vermischen.

28. Die Bestimmung der Verdunstungscoëfficienten der Flüssigkeiten kann in mancher Beziehung wünschenswerth erscheinen [1]).

Meiner Ansicht nach ist das beste Mittel ihn zu bestimmen die Ausbreitung, natürlich bei den Flüssigkeiten, mit welchen man diese Erscheinung hervorrufen kann. Man hat nämlich bei dieser Messungsmethode den unschätzbaren Vortheil von der Temperaturveränderung durch die Verdunstung unabhängig zu seyn, erstens, weil eine grofse Oelmasse abzukühlen ist, die der Ausbreitungsstrom durch innere Bewegung fortdauernd vermischt, zweitens, weil die Messung selbst in sehr kurzer Zeit gleich im Beginn der stationären Ausbreitung ausgeführt wird, und die nachfolgende allmähliche Abkühlung des Oels ihre Güte nicht mehr beeinträchtigen kann.

29. Ich war noch neugierig zu sehen, ob die Verdunstungscoëfficienten übereinstimmten, wenn sie ihren gröfstmöglichen Werth erhalten, nämlich wenn der Alkohol brennt.

1) Der Verdunstungscoëfficient im leeren Raum, wenn man sich vorstellt, die gebildeten Dämpfe werden fortdauernd entfernt, steht im unmittelbarsten Zusammenhange mit dem Druck der Gase im Maximum der Spannung. Er ist gegeben durch die Menge Dampf, die ausströmen würde aus einer Oeffnung, welche diesseits die Dämpfe im Maximum der Spannung, jenseits aber den leeren Raum hätte. Der Verdunstungscoëfficient in die Luft oder in ein anderes Gas ist eine verwickeltere Gröfse, und hängt ab von der Leichtigkeit, mit welcher die Dämpfe in diese Gase diffundiren.

Bei einer Ausflufsmenge von 7,77 Grm. in 10 Minuten brannte eine Ausbreitung von 2,15 Centimeter Durchmesser.

In 2 Minuten verbrannten in einem cylindrischen Gefäfs von 10,5 Quadratcentimeter Oberfläche 1,16 Grm. Alkohol.

Daraus folgt der durch die Ausbreitung ermittelte Verdunstungscoëfficient 0,413, der direct bestimmte 0,552.

Der erstere ist also kleiner. Ich habe den Versuch mehrmals wiederholt und ihn stets kleiner gefunden. Diefs ist um so sonderbarer, da erwärmtes Oel mehr Alkohol aufnimmt, wie kaltes. Es erklärt sich aber so. Wenn der Alkohol im Gefäfs brennt, und unbeweglich der nahe befindlichen Flamme seine Oberfläche zukehrt, so mag diese sehr stark erwärmt werden, vielleicht weit über den Siedepunkt des Alkohols hinaus. Während bei der Ausbreitung der Alkohol kalt an die Oberfläche gelangt und bei der rapiden Bewegung, welche dort stattfindet, nicht Zeit hat, in demselben Maafse wie im Gefäfs erwärmt zu werden.

30. An die Spitze der Untersuchungen über stationäre Ausbreitung habe ich ein Experiment gestellt, durch welches dargethan wird, dafs Ausbreitung noch stattfindet, auch wenn Luft und Oel mit Alkohol gesättigt sind. Dieser Erfahrung widerspricht scheinbar die obige Relation: $m = \alpha\pi R^2 + 2\pi s\delta\nu R$. Das erste Glied rechter Hand wird dann in der That Null. Allein das zweite Glied mufs für diesen Fall anders aufgefafst werden. Dann versenkt sich nämlich die Alkoholschicht selbst, ohne erst zu diffundiren, in das Oel. Im Allgemeinen, wenn man das Gefäfs, worin die Alkoholausbreitung geschieht, mit einer Glasplatte bedeckt, so wickelt sich folgende Reihe von Erscheinungen ab. Zunächst sättigt sich die Luft mit Alkohol und der Durchmesser nimmt bedeutend zu. Der Alkohol der mit der Ausbreitungsströmung in das Innere des Oels dringt, ist theils diffundirt, theils nicht. Nun tritt eine lange Periode ein, während welcher das Oel sich mit Alkohol schwängert. Ist das Oel gesättigt, so diffundirt der in sein Inneres dringende Alkohol nicht mehr, sondern steigt in kleinen Blasen auf, die anfänglich auch Ausbreitungen bilden, schliefslich aber sich als Alkohol-

schicht auf dem Oele sammeln, womit die Erscheinung der Ausbreitung ihr Ende erreicht hat.

31. Zum Beschlusse dieser Mittheilungen soll noch eines Versuches Erwähnung geschehen, welcher der Vollständigkeit wegen angestellt werden mufste.

Man könnte sich nämlich vorstellen die Ausbreitungsströmung sey eine Wirkung des Laplace'schen Druckes *K*. Man denke sich einen Kanal durch den Alkohol geführt, der irgend wo die freie ebene Oberfläche trifft, an seinem anderen Ende aber in der scharfen Kante der Ausbreitung in der grauen Zone endigt. Dann drückt an einem Ende der Druck *K* und am andern ein schwer zu bestimmender, der zusammengesetzt ist aus der Wirkung des Oels auf den Alkohol, und derjenigen des Alkohols auf sich selbst. *A priori* kann man kaum entscheiden, ob dieser Druck nicht vielleicht sehr klein ist gegen den Druck *K*, und ob die Ausbreitung nicht vielleicht dadurch entsteht, dafs der Druck *K* die Flüssigkeit durch die graue Zone hindurchtreibt, wie die Luft durch ein Loch in der Wandung eines Gummiballons ausgetrieben wird. Wäre diefs der Fall, so müfste aber begreiflich mehr Alkohol ausfliefsen, wenn Ausbreitung stattfindet, als wenn der Alkohol in ein Alkoholreservoir rinnt, wo von keiner Ausbreitung die Rede seyn kann.

Das Experiment wurde angestellt, und es zeigte sich, dafs in beiden Fällen die Ausflufsmengen bis auf die in der Messungsmethode begründeten Fehler gleich sind, dafs also jene Vermuthung unrichtig ist.

Schlufs.

Ich glaube, dafs durch die mitgetheilten Untersuchungen die Erscheinung der Ausbreitung an sich genügend definirt ist. Aber ich mache nicht den Anspruch, dieses geheimnifsvolle Phänomen erklärt zu haben.

Es ist gleich mifslich eine Reihe von neuen Thatsachen ganz ohne den Versuch einer Erklärung hinzustellen, als Hypothesen zu ihrer Erklärung zu ersinnen, die vorerst nicht geprüft werden können. Ich werde aber doch über den

letzten Grund der Erscheinung einige Bemerkungen machen, weil ich glaube, dafs nur zwei Erklärungen dafür denkbar sind, zwischen denen man die Wahl hat.

Die Kraft, welche die mechanischen Effecte erzeugt, entsteht entweder durch Wechselwirkung von Oel und Alkohol oder sie entsteht im Alkohol selbst.

Nun kann das Oel durch seine Anziehung zum Alkohol einen höheren Druck in demselben erzeugen, der einen schnelleren Abflufs des Alkohols bewirkt. Die Anziehung des Alkohols gegen sich selbst in der grauen Zone ist in ihn hineingerichtet. Diese müfste also überwunden werden. Dabei würde es sich auch erklären lassen, dafs die mechanischen Effecte mit der Temperatur wachsen. Man hätte anzunehmen, dafs die Anziehung des Alkohols gegen sich selbst mit wachsender Temperatur schneller abnimmt, als diejenige zwischen Alkohol und Oel, da es gegen alle Erfahrung stritte, sich eine von Beiden als mit der Temperatur zunehmend zu denken.

Wenn die Quelle jener Kraft im Alkohol selbst zu suchen ist, so könnte sie auf einer Abstofsung seiner Theilchen beruhen, die dann hervortritt, wenn er sehr dünn auf einer Ebene vertheilt ist. Diese Abstofsung wäre eine ähnliche, wie an der freien Oberfläche, wo sie sich als Verdunstung zu erkennen giebt.

Diese letztere Erklärung hat etwas plausibles, weil die Intensität der mechanischen Effecte der Ausbreitung mit der Verdunstung durchaus gleichen Schritt hält. Indessen ist dieſs nur ein allgemeiner Eindruck, und es liegen noch nicht hinreichend Thatsachen vor, um sich für eine von den beiden entwickelten Vorstellungen entscheiden zu können.

Das Interesse dieser Erscheinungen scheint mir übrigens auch weniger darauf zu beruhen, dafs sie ein für die Theorie wichtiges Verhalten der Flüssigkeiten, wenn sie in gewisse Ladungen treten, enthüllen. Es liegt vielmehr darin, dafs, ihre Natur einmal richtig erkannt, sich eine Menge bisher heimathloser Phänomene um sie schaart.

Ich habe einen Theil der mitgetheilten Versuche in Kö-

nigsberg angestellt, und hatte mich dabei häufig des gütigen Raths meines hochverehrten Lehrers des Hrn. Prof. Neumann zu erfreuen, wofür ich ihm hiermit meinen Dank ausspreche.

II. *Ueber die Beziehungen des im Eisenkern der Elektromagnete erregten Magnetismus zu den Dimensionen des Magnetkernes; von Dr. J. Dub.*

Lenz und Jacobi waren die Ersten, welche systematisch den Einfluſs der Dimensionen des Eisenkernes eines Elektromagneten auf seine magnetische Intensität untersuchten. Die erhaltenen Resultate sind im 61. Bande dieser Annalen S. 254 und 448 u. f. dargelegt, und werden in nachstehenden vier Theilen abgehandelt:

1. »*Welchen Einfluſs hat die Dicke des Eisenkerns auf den in ihm erregten Magnetismus?*« [1])

2. »*Ueber den freien Magnetismus der Endflächen elektromagnetisch erregter Eisenstangen von gleichem Durchmesser aber ungleicher Länge*« [2]).

3. *Ueber die Vertheilung des magnetischen Fluidums in Eisenstangen, die der ganzen Länge nach mit elektromagnetischen Spiralen bedeckt sind*« [3]).

4. »*Ueber die magnetische Vertheilung in Eisencylindern, die nicht ihrer ganzen Länge nach mit elektromagnetischen Spiralen bedeckt sind*« [4]).

Nach dieser Zeit sind von mehreren Physikern Versuche veröffentlicht, welche die von Lenz und Jacobi in der oben genannten Abhandlung aufgestellten Sätze nicht, oder doch nur theilweise bestätigen.

1) Diese Annalen Bd. 61, S. 255.
2) Ib. S. 265.
3) Ib. S. 275.
4) Ib. S. 459.

Dieser Widerspruch, in welchem mehrere von Lenz und Jacobi ausgesprochenen Sätze mit anderen Versuchen stehen, hat meist nicht seinen Grund in den von ihnen angestellten Versuchen, die stets mit anderen Beobachtungen übereinstimmende Resultate liefern, sondern in den Schlüssen, welche sie aus denselben ziehen. Schon in meiner letzten Abhandlung im 102. Bande dieser Annalen habe ich gezeigt, dafs in dem zweiten von Lenz und Jacobi behandelten Abschnitte: »Ueber den freien Magnetismus der Endflächen elektromagnetisch erregter Eisenstangen von gleichem Durchmesser aber ungleicher Länge«, eine Methode angewandt ist, welche nicht das Mittel bietet, den freien Magnetismus zu beurtheilen. Lenz und Jacobi sagen nämlich zur Begründung ihrer Methode [1]): »Wenn man an einen Magnetstab einen Anker von weichem Eisen anlegt, ein Fall, der übrigens in der Praxis am häufigsten vorkommt, so können wir annehmen, dafs die Menge der zerlegten magnetischen Materie, oder der totale Magnetismus, der in diesem weichen Eisen entwickelt wird, proportional ist dem freien Magnetismus der Stelle des Magnetstabes, an welche der Anker angelegt worden. Diese Annahme ist einfach und dürfte wohl kaum einen Widerspruch erfahren, denn da die Umstände in allen Fällen gleich sind, so kann von jeder Art und Weise der Vertheilung im weichen Eisen abstrahirt werden; ja selbst wenn der freie Magnetismus der berührten Stelle des Stabes durch das Anlegen des Ankers modificirt werden sollte, so kann bei einer solchen Modification der ursprüngliche freie Magnetismus nicht gut anders als in Form eines constanten Factors auftreten. Denkt man sich nun ein solches weiches Eisen (Anker) von einer Inductionsspirale umgeben, so wird im Augenblicke des Abreifsens ein Inductionsstrom entstehen, welcher dem verschwindenden totalen entwickelten Magnetismus, und also auch dem freien Magnetismus der berührten Stelle proportional seyn mufs.«

1) Diese Annalen Bd. 61, S. 265.

Die aus meinen Versuchen gefundenen Resultate haben gelehrt, dafs dieser Schlufs nicht richtig ist. Ich habe gezeigt, und die folgenden Auseinandersetzungen werden diefs in ein noch helleres Licht stellen, dafs, während der freie Magnetismus den Wurzeln der Stablängen proportional ist, ein und derselbe Anker, wenn er kürzer ist als die angewandten Magnete, doch immer mit derselben Kraft gehalten wird. Der Grund hiervon liegt, wie wir später noch genauer sehen werden, in der Vertheilung des erregten Magnetismus durch die Gesammtlänge des Stabes *mit* seinem Anker, und wir können deshalb nicht die Ansicht von Lenz und Jacobi theilen, dafs »die Umstände in allen Fällen gleich sind«, obschon die Vertheilung im weichen Eisen (Anker) dieselbe ist. Schon aus meiner Untersuchung über die Wirkung der Länge der Magnete in Bezug auf die Tragkraft und Anziehung [1]) geht hervor: »Mit der zunehmenden Länge der Magnete ändert sich die magnetische Vertheilung in der Weise, dafs, trotz der wachsenden Totalintensität, die Intensität der vom Ende gleichweit entfernten Querschnitte dieselbe ist«. Es bleibt deshalb bei allen Magneten in demselben Anker derselbe erregte Magnetismus, ohne dafs man deshalb auf dieselbe Intensität des freien Magnetismus der Endflächen verschiedener Magnete schliefsen dürfte. Da Lenz und Jacobi diefs thun, so mufsten die von ihnen extrahirten Sätze im Widerspruch mit den Erscheinungen stehen, auf welche sie Anwendung finden sollten.

In der vorliegenden Darlegung habe ich einerseits zu zeigen gesucht, dafs die in den Abschnitten No. 1 und 3 der Abhandlung von Lenz und Jacobi angeführten Versuche im vollkommensten Einklange mit den von mir aufgestellten Gesetzen stehen, andrerseits habe ich aus denselben Schlüsse gezogen, die auf bisher noch unbekannte Gesetze führen.

1) Diese Annalen Bd 102, S. 220.

I. Der Durchmesser der Elektromagnete.

In Bezug auf den Einfluſs, welchen der Durchmesser des Kernes auf den Magnetismus des Elektromagneten übt, erscheinen mir die vorhandenen Untersuchungen ausreichend, um endgültig über diese Frage entscheiden zu können.

Im Jahre 1849 stellte Müller in Freyburg im Widerspruch mit der Behauptung von Lenz und Jacobi, daſs der Magnetismus dem Durchmesser des Stabes proportional sey, den Satz auf:

»*So weit man den Stabmagnetismus der Stromstärke proportinal setzen kann, ist der durch gleiche Ströme in verschiedenen Eisenstäben erzeugte Magnetismus der Quadratwurzel aus dem Stabdurchmesser proportional*« [1]).

Dem entgegen behauptete v. Feilitzsch in Greifswald, *daſs die Magnetismen den Umfängen (also den Durchmessern) der cylindrischen Eisenkerne proportional sind* [2]).

Im Jahre 1851 veröffentlichte Hankel in Leipzig Versuche, aus denen, wie ich früher gezeigt [3]), hervorgeht, *daſs der freie Magnetismus den Wurzeln der Durchmesser der Eisenkerne proportional ist* [4]).

Zu dem letzteren Resultat bin auch ich durch Versuche gelangt, in denen ich die fragliche Wirkung des Kernes nach mehreren Methoden prüfte [5]).

Alle Versuche, welche Lenz und Jacobi in Bezug auf den Eisenkern in den vorn genannten Abschnitten besprechen, werden mittelst der Inductionsspirale unternommen, weil diese Physiker der Meinung sind, daſs sie das einzige Mittel sey um zu genügenden Resultaten zu gelangen. Sie sagen bei der Untersuchung des Durchmessers der Magnetkerne: »Es wäre nun wohl wünschenswerth gewesen, auch den freien Magnetismus der Endflächen dieser Eisenstangen von verschiedenem Durchmesser untersuchen und vergleichen zu

1) Bericht über die neusten Fortsch. d. Physik S. 498.
2) Diese Annal. Bd. 80, S. 327.
3) Diese Annal. Bd. 90, S. 255.
4) Bericht der Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig 1851 S. 96 u. f.
5) Diese Annal. Bd. 90, S. 248 und 441.

können. Indessen setzten sich allen den bekannten Methoden, welche bei solchen Untersuchungen angewendet werden könnten, so viele materielle Schwierigkeiten entgegen, dafs kaum mit einiger Sicherheit genaue Resultaie erwartet werden können« [1]).

Ihre Untersuchungen sind in der Weise angestellt, dafs der Eisenkern mit einer Inductionsspirale und über derselben mit einer galvanischen Spirale umgeben wird. Sobald nun mittelst des galvanischen Stromes in dem Eisen Magnetismus erregt wird, so ruft dieser in jeder einzelnen Schicht des Magneten *erregte* Magnetismus, beim Verschwinden einen Inductionsstrom in der denselben umgebenden Inductionsspirale hervor. In Bezug auf diesen Strom sagen Lenz und Jacobi, »*dafs dieser inducirte Strom, welcher durch das Verschwinden des Magnetismus im Eisenkern entsteht, diesem Magnetismus selbst proportional sey*, ist die Voraussetzung, worauf unser ganzes Verfahren basirt ist [2]).

Sie sagen ferner: »Da wir annehmen können, dafs die totalen Quantitäten des entwickelten Magnetismus, die wir gemessen haben, auch auf der Oberfläche unserer Cylinder gleichartig verbreitet sind, so dafs jedes Element der Oberfläche, das von der Grundfläche gleich weit entfernt ist, auch einen gleichen Magnetismus besitzt, so ist kein Grund vorhanden, warum nicht am Umfange dieser Grundflächen dasselbe stattfinden müsse. Wir können hierbei ganz von der Art und Weise der Vertheilung abstrahiren, welche der Länge nach stattfindet, und da diese bei allen Cylindern gleich ist, auch annehmen, *dafs der freie Magnetismus der Ränder sich gleichfalls wie deren Durchmesser verhalten werde*« [3]).

Da meine Untersuchungen diesem Satze widersprachen und ich voraussetzte, dafs Lenz und Jacobi aus ihren Versuchsresultaten die richtigen Folgerungen gezogen hätten, so habe ich in früheren Abhandlungen mehrmals gegen die

1) Diese Annal. Bd. 61, S. 263.
2) Diese Annal. Bd. 43, S. 230.
3) Diese Annal. Bd. 61, S. 263.

obige Voraussetzung, dafs der freie Magnetismus dem durch die ganze Masse des Kerns *erregten* Magnetismus proportional sey, Zweifel erhoben. Allein da ich mich jetzt bei andern Untersuchungen überzeugt habe, dafs diese Proportionalität wirklich stattfinde, und der von mir gefundene Satz, dafs der freie Magnetismus sich wie die Wurzeln der Durchmesser der Eisenkerne verhalte, doch unzweifelhaft richtig sey: so fand ich mich veranlafst, zunächst die Versuchsresultate, welche Lenz und Jacobi in Bezug auf die Durchmesser der Magnetkerne angestellt haben, einer näheren Prüfung zu unterwerfen, welche ich denn hiermit der Beurtheilung der Physiker übergebe.

Um die Wirkung des Durchmessers verschiedener Magnetkerne zu prüfen, nahmen Lenz und Jacobi 10 Eisenkerne von einem Fufs Länge, deren Durchmesser $\frac{1}{6}''$, $\frac{1}{3}''$, $\frac{1}{2}''$, $\frac{2}{3}''$, $\frac{5}{6}''$, $1''$, $1\frac{1}{2}''$, $2''$, $2\frac{1}{2}''$, $3''$ waren, so dafs also das Verhältnifs der Durchmesser durch die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 15, 18 dargestellt ist. Für diese verschiedenen Kerne fanden sie das nachstehende Verhältnifs des in jedem *caeteris paribus* erregten Magnetismus. Sie stellen mit demselben zwei verschiedene Versuche an, indem sie sie einmal in eine Spirale einführen, welche die Weite von 3" hat, und das andere Mal die Spirale jeden Kern eng umschliefsen lassen. Da nach dem eigenen Ausspruche der Experimentatoren die Weite der Windungen nicht ohne Einflufs ist [1]), so habe ich hier nur die zweite Reihe, als die genauere, der Prüfung unterworfen.

I.

Durchmesser der Kerne d	Erregter Magnetismus m	$\frac{m}{d}$	$\frac{m}{\sqrt{d}}$
(1	6,244	6,244	6,244)
2	13,603	6,802	9,596
3	16,735	5,578	9,662
4	20,620	5,155	10,310
5	22,841	4,568	10,214

1) Diese Annal. Bd. 61, S. 260.

Durchmesser der Kerne d	Erregter Magnetismus m	$\frac{m}{d}$	$\frac{m}{\sqrt{d}}$
6	24,914	4,152	9,492
9	31,803	3,534	10,001
12	40,946	3,412	11,820
15	49,127	3,275	12,684
18	55,558	3,087	13,092

Die dritte Colonne dieser Reihe giebt das Verhältnifs des Magnetismus zu den Durchmessern, die vierte das zu den Wurzeln der Durchmesser der Kerne. Der erste Blick zeigt, dafs die hier aufgeführte Reihe für das Verhältnifs zu den *Wurzeln* der Durchmesser genauer pafst als das zu den Durchmessern selbst.

Lenz und Jacobi lassen bei ihren Berechnungen den Versuch mit dem $\frac{1}{6}''$ dicken Stab aufser Acht und zwar mit Recht, denn bei ihm kann nur schon eingetretene Sättigung die grofse Abweichung von den übrigen Resultaten hervorgebracht haben. Thun wir desgleichen und stellen die Differenzen der Verhältnisse zwischen dem $\frac{1}{3}''$ dicken Kerne und allen übrigen zusammen, so erhalten wir Folgendes:

	Differenzen der Reihe $\frac{m}{d}$	Differenzen der Reihe $\frac{m}{\sqrt{d}}$
2	0	0
3	+ 1,224	+ 0,066
4	+ 1,647	+ 0,714
5	+ 2,234	+ 0,618
6	+ 2,650	— 0,104
9	+ 3,268	+ 0,405
12	+ 3,390	+ 2,224
15	+ 3,527	+ 3,087
18	+ 3,715	+ 3,496

Während wir in der ersten Reihe eine regelmäfsige Zunahme der Differenzen zwischen den Verhältnissen des Magnetismus zu dem Durchmesser der Kerne beobachten, und zwar eine so bedeutende Zunahme dafs das letzte Verhält-

nifs kleiner als die Hälfte des ersteren ist; finden wir bei dem anderen $\frac{m}{\sqrt{d}}$ bis zu $1\frac{1}{2}''$ Durchmesser fast völlige Gleichheit der Werthe. Wenn nun die Resultate mit den drei stärksten Magneten plötzlich abweichen, so mufs man den Grund davon doch sicher in äufseren Umständen suchen. Allein selbst *diese* Abweichungen sind noch nicht so grofs als sie die Differenzenreihe unter den Verhältnissen zu den Durchmessern zeigt. Es wird daher nach dieser Versuchsreihe von Lenz und Jacobi Niemand den Satz beanstanden, »dafs der in Eisenkernen von gleicher Länge aber verschiedenem Durchmesser erregte Magnetismus *nicht den Durchmessern*, sondern den Wurzeln derselben proportional ist«.

Da nun einige Versuche von Hankel [1]) wie auch die meinigen [2]) zeigen, dafs sowohl der mittelst der Ablenkung der Magnetnadel als auch der durch die Anziehung einer Spirale gemessene *freie* Magnetismus den Wurzeln der Durchmesser proportional ist, so mufs hiernach der *erregte* Magnetismus dem *freien* proportional seyn. Diesen Satz haben Lenz und Jacobi schon längst als richtig angenommen, allein der von ihnen aus ihren Versuchen entnommene Satz, dafs der erregte Magnetismus sich wie die Durchmesser der Magnetkerne verhalte, stand im Widerspruch mit dieser ihrer Annahme. Sie sagen nämlich [3]): »Wir können ganz von der Art und Weise der Vertheilung abstrahiren, welche der Länge nach stattfindet, und da diese bei allen Cylindern gleich ist, annehmen, dafs der freie Magnetismus der Ränder sich gleichfalls wie deren Durchmesser verhalten werden, so dafs also z. B. die Tragkräfte dieser Cylinder, wenn man einen Anker an ihre Grundflächen anlegt, sich *ebenfalls* wie die Durchmesser verhalten werden.«

Dieser letzte Schlufs widerspricht aller Erfahrung. Alle Beobachtungen lehren, dafs, *wenn nicht ungeeignete Dimen-*

1) Bericht der Gesellsch. d. Wissensch. zu Leipzig 1851 S. 96 u. f.
2) Diese Annal. Bd. 90, S. 259.
3) Diese Annal. Bd. 61, S. 264.

sionen der Anker die Erscheinung ändern, die Anziehung wie die Tragkraft im quadratischen Verhältnifs zu dem freien Magnetismus stehen [1]). Da nun aber Tragkraft und Anziehung sich ganz entschieden wie die Durchmesser verhalten, wenn man den entsprechenden Anker nimmt, so mufs daraus schon zurück auf das Wurzelverhältnifs des entsprechenden freien Magnetismus geschlossen werden.

Wie die Versuche von Lenz und Jacobi den von mir gefundenen Satz bestätigen, so verhält es sich auch mit den Versuchen von v. Feilitzsch [2]), nur entbehren diese Versuche, wohl in Folge der angewandten Methode, etwas mehr der Genauigkeit, wie wir sogleich sehen werden. Man mufs bei ihnen erst noch die zum Theil von v. Feilitzsch selbst angegebenen Versuchsfehler mit in Rechnung ziehen, um zu dem richtigen Resultat zu gelangen. Dieser Experimentator prüft den *freien* Magnetismus der Magnetkerne von verschiedenem Durchmesser in der Weise, dafs er der durch den Kern abgelenkten Magnetnadel von der entgegengesetzten Seite her einen Stahlmagneten so weit nähert, bis die Nadel wieder auf Null steht und aus der Entfernung, bis zu welcher er in jedem einzelnen Falle den Magneten nahe bringt, auf die Intensität des Elektromagneten schliefst. Mittelst dieser Methode werden 6 Magnetkerne, deren Umfänge von 42,9^{mm} bis 94,9^{mm} wachsen, bei 6 verschiedenen Stromstärken, die von 0,11 bis 8,499 zunehmen, in Rücksicht auf ihren an den Polen freien Magnetismus geprüft.

Es ergaben sich die nachstehenden Werthe:

III.

Umfang d. Eisenkerne.	Magnetismus bei nachstehenden Stromstärken.					
	0,110	0,269	1,070	2,811	4,956	8,499
42,9^{mm}	0,150	0,383	1,555	4,138	7,429	12,194
54,9	0,182	0,465	1,806	4,848	8,715	14,470
67,6	0,216	0,540	2,129	5,656	10,226	16,891
79,2	0,247	0,618	2,397	6,424	11,585	18,850
90,7	0,276	0,690	2,693	7,339	13,003	21,259
94,8	0,285	0,717	2,792	7,471	13,399	21,956

1) Diese Annal. Bd. 90, S. 442.
2) Diese Annal. Bd. 80, S. 321.

In der nächsten Tabelle habe ich die hier angeführten Werthe des freien Magnetismus mit den Umfängen der Eisenkerne, welche das Verhältnifs der Durchmesser angeben, dividirt. Der Einfachheit wegen sind die Commata weggelassen.

IV.

Verhältnifs des Magnetismus zu den Durchmessern der Eisenkerne bei den verschiedenen Stromstärken.

Verhältn. d. Durchmesser.	Stromstärken.					
	0,110	0,269	1,070	2,811	4,956	8,499
42,9	3496	8928	3625	9646	1732	2842
54,9	3315	8470	3290	8836	1587	2636
67,6	3195	7988	3149	8367	1513	2499
79,2	3119	7803	3027	8111	1463	2380
90,7	3043	7670	2969	7981	1434	2344
94,9	3003	7555	2942	7878	1442	2314

V.

Verhältnifs des Magnetismus zu den Quadratwurzeln der Kerndurchmesser bei verschiedenen Stromstärken.

Verhältn. d. Durchmesser.	Stromstärken.					
	0,110	0,269	1,070	2,811	4,956	8,499
42,9	2290	5847	2374	6318	1134	1862
54,9	2456	6276	2437	6543	1176	1954
67,6	2627	6568	2590	6879	1243	2054
79,2	2776	6944	2694	7218	1302	2118
90,7	2898	7245	2828	7601	1365	2232
94,9	2926	7360	2859	7669	1375	2254

In dieser zweiten Tabelle ist mit den Wurzeln der Umfänge in die einzelnen Werthe der früher angegebenen Magnetismen dividirt, und wir erhalten somit in diesen Zahlen das Verhältnifs des Magnetismus zu den Quadratwurzeln der Durchmesser. Vergleichen wir diese Reihen mit den in der Tabelle IV erhaltenen, so sehen wir, das hier das Verhältnifs durchschnittlich in demselben Grade *zunimmt* als es in jener *abnimmt*. Wir müssen also, wenn v. Feilitzsch sich für berechtigt hält, jene Abweichungen ver-

nachlässigen zu dürfen, dieſs Recht ebenfalls in Bezug auf die Wurzeln in Anspruch nehmen. Allein es kommen noch zwei Punkte mit hinzu, welche es auſser Zweifel setzen, daſs auch die Versuche von v. Feilitzsch sich so genau, wie man es nur verlangen kann, dem Verhältniſs der Wurzeln der Kerndurchmesser anpassen.

1. v. Feilitzsch sagt: »die Wiederholung dieses Theiles der Untersuchungen der HH. Lenz und Jacobi auf einem gänzlich verschiedenen Wege dürfte für den Umfang der Beobachtungen zur Genüge die Richtigkeit der ausgesprochenen Gesetze darthun, noch dazu, *wenn wir für gröſsere Stromstärken eine Neigung zur magnetischen Sättigung statuiren wollen, die immer mehr hervortritt, je dünner die angewandten Eisenkerne sind.*«

Statuiren wir nun diese Sättigung, so müſsten darnach, wenn wir dieselbe bei den Kernen von geringerem Durchmesser wegdenken, die dünneren Kerne etwas gröſsere Werthe für den freien Magnetismus zeigen, als sie v. Feilitzsch gefunden hat. Alsdann würden aber die Verhältniſszahlen bei den dünneren Kernen in den beiden Tabellen IV und V gröſser werden, als sie die Rechnung ergeben hat, d. h. in IV würde das Verhältniſs des freien Magnetismus zum Durchmesser der Kerne noch abweichender erscheinen, während in V das Verhältniſs zu den Wurzeln der Kerndurchmesser sich constanter herausstellen müſste.

2. v. Feilitzsch hat zur Erzeugung des Magnetismus in den Kernen von verschiedenem Durchmesser ein und dieselbe Spirale von 40^{mm} innerem Durchmesser angewandt und sagt in Bezug hierauf: »daſs die Weite der Windungen der Spirale ohne Einfluſs auf den in einem Eisenkerne zu erzeugenden Magnetismus ist, haben die HH. Lenz und Jacobi in den citirten Abhandlungen erötert.« In Bezug hierauf treten aber doch Beschränkungen ein, welche in dem vorliegenden Falle durchaus nicht vernachlässigt werden dürfen; denn in der erwähnten Abhandlung von Lenz und Jacobi [1]) finden dieselben mit 6 Spiralen von

1) Diese Annalen Bd. 47, S. 248 u. f.

I	II	III	IV	V	VI	
2″	2″,3	2″,6	2″,9	3″,3	3″,7	Durchmesser

welche also nicht einmal um das Doppelte an Weite von einander verschieden sind als erregten Magnetismus mit der

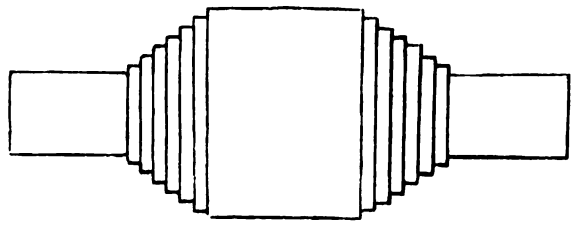
Spirale	Erregter Magnetismus
I	0,133
II	0,131
III	0,129
IV	0,125
V	0,121
VI	0,122

Sie sagen: »Aus dieser Tabelle ersieht man, dafs die im Eisen erzeugten Magnetismen ein wenig an Kraft abnehmen, je weiter die Spiralen von dem Eisen entfernt sind.«

Im vorliegenden Falle würde eine doppelt so weite Spirale als die No. I etwa um ein Zehntel weniger Magnetismus in demselben Kerne erzeugt haben als diese.

Auf S. 261 sagen Lenz und Jacobi:

»Es ergiebt sich aus den obigen Betrachtungen, dafs die geringen Unterschiede, welche durch den weiteren Abstand vom Eisenkern entstehen, *für die Praxis eigentlich* vernachlässigt werden können, und dafs vom Gesetze, dafs bei gleichen Strömen die Weite der Windungen für die Magnetisirung von keinem Einflusse ist, desto weniger abgewichen werden wird, *je länger der Eisenkern im Verhältnisse zur Länge der Spirale ist, und je mehr man die äufsern Windungen von den Enden zurückzieht*, die Umwickelung also ungefähr nach der folgenden Figur einrichtet.« Die nach besagter Figur gezeichnete Einrichtung ist aber die nachstehende:



Dieser Art ist nun aber keineswegs die Einrichtung der Elektromagnete von v. Feilitzsch. Die von ihm angewandte Spirale hatte 102^{mm} Länge, nämlich $2a$ und $a=51^{mm}$ während die Länge der Eisenkerne 110^{mm} betrug. Die Eisenkerne ragten bei ihm also nur 4^{mm}, mithin nur um $\frac{4}{110}$ der ganzen Kernlänge auf jeder Seite aus der Spirale hervor.

Hiernach sind also die von v. Feilitzsch erhaltenen Magnetismen der schwächeren Magnetkerne auch aus diesem Grunde zu klein. Nehmen wir an, dafs auch hier bei dem halb so starken Kerne der Magnetismus um $\frac{1}{10}$ seiner Intensität vermehrt werden müfste, so gelangen wir durch Summirung der beiden genannten Fehlerquellen zu Werthen, deren Verhältnisse von denen der Wurzeln der Kerndurchmesser zu einander nur noch wenig abweichen würden, die wenigstens diesen viel näher stehen müssen als denen der Durchmesser, bei welchen sich durch Hinzufügung der genannten Fehlerwerthe die Verhältnisse in gleichem Maafse noch erweitern, als sie sich bei jenen mehr einem constanten Werthe nähern.

In Eolge dieser Auseinandersetzung halte ich mich für berechtigt, auch nach den Untersuchungen von Lenz und Jacobi, wie nach denen von v. Feilitzsch in Uebereinstimmung mit den von mir früher angestellten den Satz auszusprechen:

»*Der in Eisengliedern von gleicher Länge erregte Magnetismus, so wie der freie Magnetismus der Endflächen derselben, ist den Wurzeln der Durchmesser dieser Cylinder proportional.*«

Bevor ich die Besprechung des Verhältnisses des freien Magnetismus zum Kerndurchmesser der Magnete schliefse, sehe ich mich genöthigt, noch einmal auf die von mir in dieser Hinsicht angestellten Versuche zurückzukommen. In der vor Kurzem erschienenen dritten Lieferung der allgemeinen Encyclopädie der Physik von Karsten giebt v. Feilitzsch in seiner Abhandlung über Elektromagnetismus §. 16, S. 111 eine Darlegung meiner Versuche, der ich nicht in allen Punkten beistimmen kann.

Die Wirkung des Kerndurchmessers in Bezug auf den freien Magnetismus ist von mir mittelst zweier Methoden geprüft [1]). Einmal wurde die Ablenkung beobachtet, welche eine kleine Declinationsnadel durch einen senkrecht auf ihrer Richtung stehenden Elektromagneten erleidet, und zweitens wurde die Kraft geprüft, mit welcher Stäbe von verschiedenem Durchmesser in eine vom galvanischen Strome durchflossene Spirale hineingezogen wurden. In Bezug auf diese Untersuchung sagt nun v. Feilitzsch:

»Es ist, wie noch bei einer späteren Gelegenheit nachgewiesen wird, die Kraft, mit welcher unter diesen Umständen der Eisenkern in die Spirale hineingezogen wird, dem »Quadrate« des in demselben frei gewordenen Magnetismus proportional. Diese Kraft kann aber an der Waage durch aufgelegte Gewichte gemessen werden. Ist nun der freie Magnetismus der Quadratwurzel aus dem Kerndurchmesser proportional, so wird jene durch Gewichte ausgedrückte Kraft diesen Durchmessern einfach proportional seyn müssen. Demgemäfs müfsten also die ausgezogenen Linien (welche v. Feilitzsch nach meinen Versuchen daneben gezeichnet hat) »Parabelbogen« und die punktirten Linien Geraden entsprechen. Diefs tritt aber nicht hervor. Ebenso zeigen auch die in der Originalabhandlung berechneten Quotienten aus den beobachteten Wirkungen, respective durch die Quadratwurzeln der Stabdurchmesser, oder im zweiten Falle durch die Durchmesser selbst, eine regelmäfsige Zunahme, anstatt constanten Gröfsen zu entsprechen, zum Beweise, dafs die Magnetismen in gröfserem Verhältnisse wachsen, als die Quadratwurzeln an den Stabdurchmessern.«

v. Feilitzsch zieht daher aus diesen Resultaten den Schlufs:

»Die durch gleiche Ströme in verschieden dicken cylindrischen Eisenstäben von gleicher Länge hervorgerufenen Quantitäten und Momente des Magnetismus wachsen in geringerem Verhältnisse als die Durchmesser, aber in gröfserm als die Quadratwurzeln derselben.«

1) Diese Annal. Bd. 90, S. 250.

In Bezug auf diesen letzten Satz läfst v. Feilitzsch aufser Acht, dafs ich nach Aufführung meiner Versuchsresultate im 90. Bande dieser Annalen S. 258 sage, die durch Division der Wurzeln der Durchmesser in die beobachteten Werthe erhaltenen Quotienten können deshalb nicht als gleich erwartet werden, weil zu den verschiedenen Kernen dieselbe Spirale angewandt wurde, so dafs aus diesem Grunde die Wirkung der dünnern Stäbe geringer werden mufste, als wenn die Spirale jeden einzelnen Kern eng umschlossen hätte. Dieselbe Ursache hat denn auch das Factum, dafs die von v. Feilitzsch nach meinen Versuchen gezeichneten Linien nicht Parabelbogen erkennen lassen. Bei den vorangegangenen Versuchen Bd. 90, S. 254 hatte ich jedoch schon gezeigt, dafs wirklich das genaue Verhältnifs zwischen den Wurzeln der Kerndurchmesser und dem freien Magnetismus eintritt, sobald Spiralen angewandt werden, die die Kerne genau umschliefsen. Gewifs wird Niemand bezweifeln, dafs die freien Magnetismen zweier gleich langer Magnete, deren Durchmesser 1″ und 2″ sind, sich wie die Quadratwurzeln dieser Durchmesser verhalten, wenn die durch Division dieser Wurzeln in die beobachteten freien Magnetismen erhaltenen Quotienten sich als 0,473 und 0,477 ergeben. — Die in den von v. Feilitzsch angegebenen Fällen *nicht constanten* Quotienten berechtigen daher nicht zu dem Schlufs, dafs der freie Magnetismus der untersuchten Stäbe in gröfserem Verhältnifs als die Quadratwurzeln der Durchmesser stehe, sondern vielmehr dafs durch eine den Kern nicht eng umschliefsende Spirale etwas von der magnetisirenden Wirkung derselben verloren gehe.

Was nun ferner das Gesetz betrifft, nach welchem die genannten Quotienten zu berechnen sind, so mufs ich bemerken, dafs die Kraft, mit der Eisenkerne von verschiedenem Durchmesser in eine galvanische Spirale hineingezogen werden, nicht dem *Quadrate* des freien Magnetismus in diesen Kernen, wie v. Feilitzsch sagt, sondern dem freien Magnetismus selbst proportional ist. Der Grund hiervon

geht aus der Erklärung hervor, welche v. Feilitzsch nach Joule's Auseinandersetzung in der Encyclopädie §. 19, S. 145 über den Grund der Proportionalität der Anziehung zum *Quadrate der Stromstärke* giebt. Sind nämlich die einander anziehenden Theile der Art, dafs sie sich wechselseitig verstärken, so dafs mit dem Wachsen der Kraft in dem einen Theile nothwendig eine Steigerung in dem anderen verbunden ist, so mufs die Anziehung dem *Quadrate* der wirkenden Kraft proportional seyn. Läfst man also einen Magneten ein Stück weiches Eisen anziehen, so wird mit der Steigerung der Kraft des Magneten auch der Magnetismus des Ankers in demselben Maafse gesteigert, und die Anziehung mufs alsdann im quadratischen Verhältnisse wachsen. Dasselbe Resultat ergiebt sich, wenn man in einer Spirale den Strom verstärkt und diese einen Stab in sich hineinziehen läfst, weil mit der Steigerung des Stromes auch ein stärkerer Magnetismus in dem Stabe hervorgerufen wird. Nicht so verhält es sich dagegen, wenn eine vom galvanischen Strome durchflossene Spirale *unverändert* bleibt und man sie auf Eisenstäbe von verschiedenem Durchmesser wirken läfst. In diesem Falle wird durch einen und denselben Strom in den dickeren Stäben wegen der gröfseren Eisenmasse *mehr* Magnetismus erregt; allein die gröfsere Kraft kann nicht verstärkend auf den anderen Theil, die wirkende Spirale, in der Weise zurückwirken, dafs auch diese verstärkt würde. Deshalb kann in diesem Falle die Kraftäufserung dem in verschiedenen Kernen entwickelten freien Magnetismus nur *einfach* proportional seyn. Eben aus diesem Grunde habe ich diese Methode zur Untersuchung der Wirkung des Stabdurchmessers gewählt. Die erhaltenen Gewichte geben *direct* den freien Magnetismus der angewandten Stäbe, und die constanten Quotienten werden durch Division mit den *Wurzeln* der Durchmesser in die Gewichte erhalten.

II. Ueber die Vertheilung des Magnetismus in Eisenstangen, die der ganzen Länge nach mit elektromagnetischen Spiralen bedeckt sind.

In dem mit gleicher Ueberschrift versehenen Kapitel der Untersuchungen von Lenz und Jacobi führen dieselben Versuche mit 7 Eisencylindern an, welche $1\frac{3}{4}$" Durchmesser und 1' bis 4' Länge hatten. Diese waren alle ihrer ganzen Länge nach mit der galvanischen Spirale bedeckt, so dafs die Zahl der Windungen mit der Länge wuchs. Ueber dieser Spirale wurde dann eine einen Zoll lange Inductionsspirale mit 123 Windungen von Zoll zu Zoll weiter geschoben und der, an jeder Stelle des Magneten in derselben bei Unterbrechung des Stromes durch den verschwindenden Magnetismus erregte Inductionsstrom gemessen. In Bezug hierauf sagen die Experimentatoren [1]):

»Denken wir uns einen, entweder ganz oder nur zum Theil mit elektromagnetischen Spiralen bedeckten Eisenkern, der Länge nach senkrecht auf die Axe, in Schichten getheilt, so wird die totale Quantität des zerlegten magnetischen Fluidums der Summe der in den einzelnen Schichten zerlegten Magnetismen gleich seyn. Es kommen also die derartigen Untersuchungen auf die Frage zurück über die wahre Vertheilung des Magnetismus in einem Elektromagneten, und auf die Quadratur der dem Gesetze dieser Vertheilung entsprechenden Curve«. Sie fahren dann fort: »Es giebt, wie wir glauben, nur ein Mittel, diesen Zustand kennen zu lernen und wirklich zu messen, und dieses bietet unsere bisherige Anwendung der Inductionsströme dar, die wir erhalten, wenn wir das magnetische Gleichgewicht der Spannung aufheben und durch Unterbrechung des galvanischen Stromes den Magnetismus verschwinden lassen. Wir nehmen an, und unsere bisherigen Versuche haben uns dazu berechtigt, *dafs der gemessene Inductionsstrom proportional ist der ganzen Quantität des magnetischen Fluidums, welches an dieser, unmittelbar unter der Inductionsspirale befindlichen Schicht zerlegt ist.* Wir können aber nicht mit

1) Diese Annal. Bd. 61, S. 271.

Stillschweigen übergehen, dafs wir uns auch davon überzeugt haben, wie der Einfluſs, den die benachbarten Schichten auf die Inductionsspirale ausüben, zwar existirt, aber, da die Erregung bei geringer Dicke der Umwicklung nur unter einem spitzen Winkel stattfindet, so gering ist, dafs er bei unseren Untersuchungen vorläufig aufser Acht gelassen werden durfte. Von den verschiedenen hierüber angestellten Versuchen wollen wir nur anführen, dafs, als wir eine mit 88 Windungen bedeckte Inductionsspirale in der Verlängerung einer $2\frac{1}{2}'$ langen, äufserst stark magnetisirten Eisenstange dicht an den Pol derselben anlegten, wir nur 0°,6 Ablenkung am Inductionsmultiplicator erhielten.«

Ob Lenz und Jacobi diesen unter einem schiefen Winkel wirkenden Inductionsstrom auf die Spirale vernachlässigen dürfen oder nicht, hängt nach meiner Meinung nicht allein von der Gröfse der Wirkung ab, welche seitwärts auf die Spirale ausgeübt wird, sondern es kommt besonders auch darauf an, ob die Wirkung von beiden Seiten dieselbe ist. In Bezug auf die Stärke, mit der die Seitenwirkung aufserhalb der Spirale vorhanden ist, mufs bemerkt werden, dafs eine Wirkung des einen Pols auf die vor ihm angebrachte Inductionsspirale von 0°,6 keinesweges unbedeutend genannt werden kann. Die Messung nämlich, welche von Lenz und Jacobi mit dem 2',5 langen Eisenstabe angestellt ist [1]), ergiebt, wenn die 1' lange Spirale sich am Ende desselben befindet 3°,16 Ablenkung am Multiplicator, während derselbe Stab in der auf seiner Mitte befindlichen Spirale einen Inductionsstrom von 16°,67 Ablenkung, also das 5fache von dem am Rande hervorrief. Der 4' lange Stab ergab am Ende fast 4°, während er in seiner Mitte 31°,8 also das 8fache zeigte. Da wir nun annehmen müssen, dafs die Seitenwirkung proportional der Totalwirkung auf die Inductionsspirale zunimmt, und da ferner die Seitenwirkungen von beiden Seiten der Spirale sich summiren, so müfste also bei diesem letzten Stabe die Seitenwirkung auf seiner Mitte sich auf $2 . 8 . 0°,6 = 9°,6$ belaufen und

1) Diese Annal. Bd. 61, S. 280.

mithin für die rechtwinklige Wirkung nur 22° übrig bleiben, während die Maximumwirkung des $1\frac{1}{2}'$ langen Stabes nach Abzug der Seitenwirkung 10°,67 ergäbe.

Allein diese Unterschiede würden die Art der Curve, welche die Steigerung des erregten Magnetismus vom Ende bis zur Mitte eines Stabes darstellt, nicht ändern, sobald sie proportional nach der Mitte hin zunehmen. Bedenkt man nun aber, dafs die Wirkung, welche auf die Inductionsspirale stattfindet, weder von beiden Seiten auf der Länge der Spirale noch von aufsen her gleich ist, oder dafs diese Gleichheit doch nur in der Maximumstellung, d. h. in der Mitte des Stabes, vorhanden ist; so wird die Gröfse der Wirkung zu beiden Seiten des mittleren Querschnitts der Spirale von nicht geringer Bedeutung. Lenz und Jacobi haben nämlich bei ihren Messungen angenommen, dafs der in den auf einen Zoll ausgedehnten Windungen der Spirale erregte Inductionsstrom angesehen werden könnte wie ein Strom, welcher in dem durch die Mitte der Spirale gehenden Querschnitt des Eisenstabes erregt wird. Sie messen daher immer die Entfernung von der Mitte des Stabes bis zur Mitte der Spirale. Nun wird man aber einsehen, dafs die Lage der Resultante aller Ströme um so mehr aus der Mitte der Spirale heraustritt, je verschiedener die Wirkungen von beiden Seiten dieses mittleren Querschnitts sind und je weiter die Inductionsspirale ist, da es ja für eine unverhältnifsmäfsig weite Spirale gleichgültig werden müfste, ob dieselbe sich am Ende oder in der Mitte befände.

Da nun einerseits die Spirale erst über der galvanischen den Kern umgiebt und aufserdem an manchen Punkten der erregte Magnetismus von einem Zoll zum andern fast um das Doppelte zunimmt; so wird man einsehen, dafs die angegebenen Werthe für den an verschiedenen Punkten des Kernes erregten Magnetismus nur für die Maximumstellung der Spirale ganz zuverlässig seyn können und an den andern Punkten mehr oder weniger der Mitte näher liegen müssen.

Wir haben vorn gesehen, dafs in Bezug auf den Durch-

messer der freie Magnetismus der Endflächen eines Stabes, dem in der ganzen Ausdehnung des Stabes durch den galvanischen Strom erregten Magnetismus proportional ist. Dasselbe gilt, wie wir sehen werden, auch von dem Verhältnifs dieser beiden Wirkungen in Bezug auf die Länge eines Magnetkerns; allein wir können daraus keine Schlüsse auf die Tragkraft und Anziehung dieses Stabes machen. Man kann nämlich nicht sagen, dafs, wenn man einen Anker an den Magneten legt, nun der freie Magnetismus hier thätig sey. Sobald der Pol durch den Anker armirt wird, ist eben an dieser Stelle kein freier Magnetismus vorhanden. Meine Untersuchungen haben gezeigt, dafs man sich Anker und Magnet wie ein Continuum denken müsse, in welchem dann der *erregte* Magnetismus die Anziehung in jedem einzelnen Querschnitte bedingt. Hieraus liefs sich schliefsen, dafs wohl die in jedem Querschnitte eines Stabes vorhandene Intensität des *erregten* Magnetismus das Verhältnifs zu der Anziehung herausstellen werde.

Prüfen wir zunächst die Richtigkeit dieses Schlusses für den Fall, in welchem der mittelst der Inductionsspirale gemessene Strom sicher die Intensität des erregten Magnetismus des gemessenen Querschnitts des Magnetstabes angiebt. Diefs findet statt, wenn die Inductionsspirale in der Mitte des Stabes sich befindet. Hierzu bieten die von mir angestellten Messungen über die Kraft, mit welcher sich zwei gleich lange Stäbe halten, Gelegenheit. Ich habe gefunden:

Die Tragkraft und Anziehung zweier gleich langer Magnetstäbe oder eines Magnetstabes und eines ihm gleichen Ankers sind der Länge dieser Stäbe proportional.

Aus diesem Grunde müfste nach dem Vorhergehenden der in der Mitte von Stäben *erregte* Magnetismus den *Wurzeln* der Längen proportional seyn, wenn sämmtliche Stäbe ihrer ganzen Länge nach mit derselben Anzahl von Windungen der galvanischen Spirale bedeckt sind.

Die von Lenz und Jacobi angestellten Messungen mit verschieden langen Stäben von 1′ bis 4′ Länge tragen bekanntlich nicht alle dieselbe Anzahl von Spiralwindungen.

Da sie jedoch ihrer ganzen Länge nach mit der Spirale bedeckt sind und die Zahl der Windungen der Länge proportional wächst, so mufs, weil der Magnetismus der Windungszahl proportional ist [1]), eine Division der Werthe, welche die Intensität des erregten Magnetismus im Maximum angiebt, durch die Länge der Stäbe, den erregten Magnetismus feststellen, den mit gleicher Windungszahl bedeckte Stäbe von verschiedener Länge in ihrer Mitte zeigen.

VII.

Der in der Mitte von Stäben verschiedener Länge erregte Magnetismus.

Länge der Stäbe $= l$	Magnetismus $= M$	$\frac{M}{l}$	$\frac{M}{l\sqrt{l}}$
1′	0,07171	0,07171	0,07171
$1\frac{1}{2}$′	0,13485	0,08990	0,07340
2′	0,20811	0,10405	0,07357
$2\frac{1}{2}$′	0,28736	0,11494	0,07267
3′	0,36785	0,12261	0,07079
$3\frac{1}{2}$′	0,43471	0,12420	0,06639
4′	0,52690	0,13172	0,06536

Während in dieser Tabelle die zweite Colonne den von Lenz und Jacobi an den verschiedenen Stäben in der Mitte derselben erregten Magnetismus darstellt, giebt die dritte Colonne das Verhältnifs der Magnetismen besagter Stäbe, wenn deren jeder seiner ganzen Länge nach mit derselben Windungszahl bedeckt wäre. Die vierte Colonne endlich giebt die Verhältnisse zu den Wurzeln der Länge der Magnete. Ein Blick auf diese Reihe läfst erkennen, dafs die gefundenen Werthe nicht mehr von einander abweichen als auf die Versuchsfehler gerechnet werden mufs.

Sie zeigt mithin den wichtigen Satz: *Der in der Mitte eines Stabes erregte Magnetismus ist der Quadratwurzel aus der Länge des Stabes proportional.*

Da ich nun früher gefunden, *dafs Tragkraft und Anziehung eines in der Mitte durchschnittenen Magneten der Länge proportional sind,* so folgt daraus:

1) Diese Annal. Bd. 47, S. 254.

»*Die Tragkraft und Anziehung eines in der Mitte durchschnittenen Magnetstabes sind dem Quadrate des an dieser Stelle erregten Magnetismus proportional*«.

Wie vorn erwähnt, sind von Lenz und Jacobi an den 7 Eisenstäben Messungen an jedem Punkte derselben vom Ende bis zur Mitte angestellt. Sie sagen nun ganz richtig: »Wenn die zu jedem Eisencylinder gehörige elektromagnetische Spirale ihrer ganzen Länge nach mit einer Inductionsspirale bedeckt wird, so erhält man einen Inductionsstrom, welcher der in dem ganzen Eisencylinder zerlegten Quantität des magnetischen Fluidums proportional ist. Zugleich mufs dieser Inductionsstrom der Summe der an den successiven Schichten beobachteten Ströme oder dem Flächeninhalte der ganzen Curve gleich seyn.«

Die Summen aller auf der ganzen Länge der Magnete gemachten Beobachtungen sind von Lenz und Jacobi in diese Annalen Bd. 61, S. 454 zusammengestellt. Da bei diesen Versuchen mit der Länge der Kerne zugleich die Anzahl der galvanischen wie die der Inductionsspiralwindungen wächst, so müssen wir die Resultate Behufs der Vergleichung in *beiden Beziehungen* mit der Länge, d. h. mit dem Quadrat der Länge, dividiren, um, wie Lenz und Jacobi es nennen, »die specifische Wirkung des Eisens« zu erhalten. Dieſs ist in der dritten Colonne der folgenden Tabelle geschehen.

VIII.

Erregter Magnetismus von Stäben von verschiedener Länge.

Länge der Stäbe $= l$	Erregter Magnetismus bei steigender Windungszahl $= M$	$\frac{M}{l^2}$	$\frac{M}{l^2\sqrt{l}}$
1′	0,66686	0,66686	0,66686
1,5′	1,83074	0,81634	0,66433
2′	3,69168	0,92292	0,65263
2,5′	6,40294	1,02442	0,64793
3′	9,89836	1,09982	0,57150
3,5	13,51770	1,10351	0,58985
4′	18,66582	1,16661	0,58330

Aus der Division dieser dritten Colonne mit den Wurzeln der Längen der Elektromagnete, welche in der vierten Colonne zusammengestellt ist, ergiebt sich das Verhältnifs des *erregten* Magnetismus in Eisenstäben von verschiedener Länge. Zwar sind diese Zahlen nicht absolut gleich, allein diefs liefs sich nach dem vorn Gesagten, wie auch deshalb nicht mit Genauigkeit erwarten, da ja diese Versuche, nach den eigenen Worten der Experimentatoren noch vielen störenden Einflüssen unterworfen sind. Nehmen wir jedoch die von mir auf anderem Wege erlangten genaueren Resultate über den freien Magnetismus mit hinzu [1]), so werden uns auch diese Verhältnisse zu dem Satze führen:

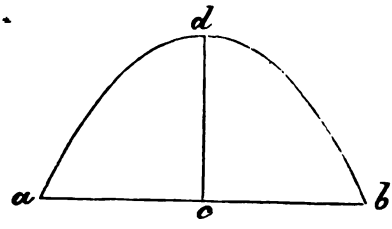
»*Der erregte Magnetismus verschieden langer Eisencylinder, die auf ihrer ganzen Länge mit derselben Kraft magnetisirt sind, verhält sich wie die Wurzeln der Längen derselben.*«

Nachdem wir diese Beziehung des erregten Magnetismus zu der Anziehung und Tragkraft erkannt haben, wollen wir versuchen, das Gesetz für die Vertheilung des Magnetismus auf der ganzen Länge eines Magnetstabes festzustellen. Lenz und Jacobi zeichnen diese Vertheilung in einer Curve und sagen [2]): »Schon die bloſse Anschauung dieser Curven weist eine groſse Aehnlichkeit derselben mit einem Kegelschnitte und namentlich mit einer Parabel nach, weshalb wir auch versucht haben, unsere Beobachtung nach dieser Curve zu berechnen.« Nun ist es aber nicht schwer einer bestimmten Versuchsreihe eine Curve anzupassen, da ja je nach Annahme der Constanten dieselbe sich verschieden gestaltet. Läfst man dann noch einige Beobachtungen, die nicht passen wollen, als unbrauchbar hinweg, so lassen sich sehr verschiedenartige Curven auf eine und dieselbe Versuchsreihe anwenden. So hat denn auch später van Rees [3]) den Versuchen von Lenz und Jacobi die Kettenlinie angepafst und meint, dafs diese besser mit den Versuchen über-

1) Diese Annal. Bd. 102, S. 209.
2) Diese Annal. Bd. 61, S. 277.
3) Diese Annal. Bd. 70, S. 1.

einstimme; allein auch er läfst die Versuche hinweg, welche Lenz und Jacobi für unbrauchbar erklären.

Lenz und Jacobi wie van Reez nehmen an, die Versuche stellen eine Curve dar, deren Scheitel in der Mitte über der Abscissenaxe liegt, so dafs sie die nebenstehende Figur erhalten, in welcher ab die Länge des Magneten darstellt. Wollen wir mit dieser Curve beispielsweise *die* Versuchsreihe vergleichen, welche, der Natur der Sache gemäfs, die meisten Werthe zur Berechnung bietet, so müssen wir die Reihe wählen, welche mit dem 4 Fufs langen Stabe erhalten wurde [1]).



IX.

4 Fufs langer Stabelektromagnet.

Entf. d. Mitte d. Ind.-Spirale von d. Mitte d. Stange in halben Zollen	Halber beobacht. Ablenkungswinkel	Berechneter Winkel	Differenz
0	31° 48′	32° 2′	— 24′
1			
3	31 44	31 55	— 11
5			
7	31 22	31 25	— 3
9			
11	30 20	30 32	— 12
13			
15	29 21	29 16	+ 5
17			
19	27 54	27 38	+ 17
21			
23	26 5	25 39	+ 26
25			

1) Diese Annal. Bd. 61, S. 450.

Entf. d. Mitte d. Ind.-Spirale von d. Mitte d. Stange in halben Zollen	Halber beobacht. Ablenkungs-winkel	Berech-neter Winkel	Differenz
27	23 45	23 20	+ 25
29			
31	21 10	20 41	+ 29
33			
35	18	17 44	+ 16
37			
39	14 20	14 29	— 9
41			
43	9 49	10 56	— 1° 6,5
45			
47	3 48′	7 4′	— 3 7

Der Kürze wegen sind in dieser Tabelle unter der Rubrik: »Halber beobachteter Ablenkungswinkel« die Mittel aus den Beobachtungen verzeichnet, welche auf beiden Seiten des Stabes von der Mitte aus gemacht wurden. Die Differenz nun, welche zwischen dem beobachteten und dem nach der Formel der angenommenen Curve berechneten Ablenkungswinkel stattfindet, beweist, dafs die Messungen besonders nach dem Ende des Stabes durchaus nicht für die angenommene Curve passen und »deshalb sind«, wie Lenz und Jacobi sagen, »auch diese Werthe bei der Berechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate *nicht mit hinzugezogen worden.*« Während für diesen Fall die Abweichungen noch gröfser geworden wären, führen uns die Mittel, welche die bisherigen Versuche an die Hand geben, auf ein ganz anderes Gesetz der magnetischen Vertheilung in einem Elektromagneten.

Stellen wir nämlich die bis jetzt als richtig anerkannten Sätze Hinsichts der Längenwirkung *der* Magnete zusammen, welche ihrer ganzen Länge nach mit derselben Windungszahl der galvanischen Spirale bedeckt und von demselben Strome durchflossen sind, so erhalten wir folgende:

1. Die Summe der in jedem Querschnitte des Stabes

erregten Magnetismen ist dem freien Magnetismus der Endflächen proportional [1]).

2. Der erregte wie der freie Magnetismus sind den Wurzeln der Stablängen proportional [2]).

3. Der in der Mitte des Stabes erregte Magnetismus ist der Quadratwurzel der Stablängen proportional [3]).

Hierzu kommen die Sätze, welche ich früher Hinsichts der Tragkraft und Anziehung gefunden habe:

4. Tragkraft und Anziehung sind, wenn der Stab in der Mitte durchschnitten wird, der Länge des Stabes proportional [4]).

5. Tragkraft und Anziehung nehmen proportional dem Abschnitte eines magnetischen Stabes von der Mitte aus ab [5]).

Wenn nun der erregte Magnetismus in der Mitte der Stäbe, so wie die Summe der in jedem Querschnitt erregten Magnetismen den Wurzeln der Stablängen proportional ist, und für alle bisher beobachteten Fälle Tragkraft und Anziehung stets dem Quadrat des erregten Magnetismus proportional sich erwiesen haben, so läfst sich mit Sicherheit schliefsen, dafs auch in allen Querschnitten des Stabes der erregte Magnetismus der Quadratwurzel dieser in den einzelnen Querschnitten sich zeigenden *Anziehung* proportional seyn wird. Da nun aber diese Anziehung der Länge des Abschnittes des Stabes vom Ende ab gerechnet proportional ist, so mufs der in diesen Querschnitten beobachtete *erregte* Magnetismus den *Wurzeln* der Längen dieser Abschnitte proportional seyn.

Bevor wir zur Prüfung dieses Satzes an den von Lenz und Jacobi angestellten Versuchen schreiten, müssen wir noch einmal auf die bei ihren Versuchen möglichen Fehler zurückkommen.

Wir haben schon vorn darauf hingewiesen, dafs wegen der zunehmenden Intensität des erregten Magnetismus nach

1) Diese Abhand. S. 253
2) Diese Annal. Bd. 102, S. 209 und diese Abh. S. 256.
3) Diese Abh. S. 254.
4) Diese Annal. Bd. 102, S. 217.
5) Diese Annal. Bd. 102, S. 215.

der Mitte des Magneten hin die Wirkung auf die Inductionsspirale zu beiden Seiten des in der Mitte der Spirale angenommenen Querschnitts verschieden seyn mufs, und dafs aus diesem Grunde die Intensität des Inductionsstromes nicht immer das Verhältnifs des erregten Magnetismus in *dem* Querschnitt des Kernes angeben wird, welcher die Inductionsspirale in der Mitte theilt, wie diefs Lenz und Jacobi annehmen. Der dieser gemessenen Intensität entsprechende Querschnitt wird, da auf der Seite nach der Mitte des Magneten hin, die Wirkung gröfser ist, auch dieser Mitte des Magneten näher liegen. Man wird also, wenn man bei der Annahme beharrt, der die Resultante aller Wirkungen auf die Inductionsspirale darstellende Querschnitt liege in der Mitte der Inductionsspirale, etwas zu grofse Werthe für den in diesem Querschnitt erregten Magnetismus erhalten. Dieses Resultat wird sich am auffallendsten da zeigen, wo die Ordinaten der Curve am meisten wachsen, weil an diesen Stellen die Differenz der Wirkungen von beiden Seiten am gröfsten ausfällt. Anders ist es mit dem Resultat, welches den Inductionsstrom am Ende des Kernes angiebt. In diesem Falle fehlt auf der einen Seite die Seitenwirkung von aufsen ganz und es mufs daher diefs Resultat *im Verhältnifs zu den anderen* zu klein ausfallen.

Ich habe von den 7 Eisenkernen, mit denen Lenz und Jacobi hier die Messungen anstellten, an dem 1', 2', 3' und 4' langen die Prüfung unternommen, ob die eben gemachten Schlüsse sich auf jene Versuchsresultate anwenden lassen.

X.

Verhältnifs des erregten Magnetismus in einzelnen Querschnitten des 1' langen Magneten zu der Entfernung dieser Querschnitte vom Ende des Magneten.

Entf d. Mitte d. Induct.-Spirale vom Pol in *halben* Zollen $= E$	Erregter Magnetismus $= M$	$\frac{M}{\sqrt{E}}$
1	0,02530	0,025300
3	0,04416	0,025496
5	0,05528	0,024722
7	0,06322	0,023840
9	0,06868	0,023426
12	0,07171	0,020700

XI.

Verhältniſs des erregten Magnetismus in einzelnen Querschnitten an der Länge eines 2′ langen Magneten zu der Entfernung dieser Querschnitte vom Ende des Magneten.

Entf. d. Mitte d. Induct.-Spirale vom Pol in halben Zollen $= E$	Erregter Magnetismus	$\frac{M}{\sqrt{E}}$
1	0,04557	0,045570
5	0,10559	0,047004
9	0,14706	0,049020
13	0,17470	0,048456
17	0,19412	0,047085
21	0,20608	0,044960
24	0,20811	0,042450

XII.

3′ langer Magnet.

1	0,06163	0,061630
5	0,15730	0,070347
9	0,22098	0,073660
13	0,27480	0,076216
17	0,31979	0,077560
21	0,35375	0,077195
25	0,38322	0,076644
29	0,40620	0,075930
33	0,42130	0,073340
37	0,42999	0,070690
42	0,43471	0,067077

XIII.

4′ langer Magnet.

1	0,06888	0,06888
5	0,17078	0,076374
9	0,24756	0,082518
13	0,30902	0,085705
17	0,36108	0,087575
21	0,40275	0,087685
25	0,43968	0,087939

Entf. d. Mitte d. Induct.-Spirale vom Pol in halben Zollen $= E$	Erregter Magnetismus $= M$	$\frac{M}{\sqrt{E}}$
29	0,46793	0,086873
32	0,49014	0,085322
37	0,50503	0,083026
41	0,52052	0,081292
45	0,52596	0,078405
48	0,52690	0,077595

Alle hier angeführten Beobachtungen bestätigen mit irgend wünschenswerther Genauigkeit die oben gemachten Schlüsse und setzen die Richtigkeit des Satzes aufser allen Zweifel.

»*Der in jedem Querschnitte eines seiner ganzen Länge nach mit der galvanischen Spirale bedeckten Eisencylinders erregte Magnetismus ist der Quadratwurzel aus der Entfernung dieses Querschnittes vom nächsten Ende des Magneten genau proportional.*«

Aus diesem Satze folgt nun direct die Parabel als Curve, welche die Intensität des erregten Magnetismus in jedem einzelnen Querschnitt des Elektromagneten angiebt. Diese Parabel hat aber nicht die Lage, welche ihr Lenz und Jakobi geben. Stellt vielmehr die Länge des Magneten die Abscissenaxe dar, so sind die auf derselben als Ordinaten aufgetragenen Intensitätswerthe des an jedem Punkte des Magneten gefundenen »erregten Magnetismus« die Ordinaten zweier gleicher Parabeln, *deren Scheitel in den beiden Enden der Abscissenaxe liegen* und die sich in der Mitte über derselben schneiden, wo das Maximuum des erregten Magnetismus liegt.

Da nun die Anziehung und Tragkraft im quadratischen Verhältnifs zu dem erregten Magnetismus stehen, so folgt aus dem eben gefundenen Resultate der von mir schon früher unabhängig von diesen Versuchen durch Experimente nachgewiesene Satz, dafs, wenn der Elektromagnet an verschiedenen Stellen durchnitten wird, die Tragkraft und An-

ziehung an diesen Stellen sich wie die Entfernungen der Querschnitte vom nächsten Pol verhalten müssen. Wie nun diese Sätze sich gegenseitig bestätigen, so läfst andererseits die genaue Uebereinstimmung der Werthe in den Tabellen X bis XIII mit den gemachten Schlüssen auf die Sorgfalt schliefsen, mit der die Versuche von Lenz und Jacobi ausgeführt sind. Während z. B. in der Colonne $\frac{M}{\sqrt{E}}$ der obigen Tabellen der erste Werth sehr von den übrigen abzuweichen scheint, beträgt doch der Unterschied zwischen der hier gemessenen Entfernung der Resultante vom Ende des Magneten und der in welcher sie nach dem Mittel aus allen anderen Werthen liegen müfste, bei dem 4 Fufs langen Magneten nur $\frac{1}{10}$ Zoll, bei dem 3 Fufs langen nur $\frac{1}{16}$" und bei dem 2 Fufs langen sogar nur $\frac{1}{60}$", welche Verschiedenheiten selbst wieder in den früher angegebenen Gründen ihre Erklärung finden.

Nachdem die Uebereinstimmung aller dieser Sätze nachgewiesen ist, bleibt uns nur noch übrig zu zeigen, wie auch der wichtigste der von mir gefundenen Sätze, welcher gleichsam den Schlufsstein des Ganzen bildet, aus den Versuchen von Lenz und Jacobi hervorgeht. Ich habe gefunden: [1])

»*Die Anziehung mufs bei gleicher magnetisirender Kraft* (d. h. bei gleichem Product aus Stromstärke und Windungszahl) *dieselbe seyn, wenn bei beliebiger Länge des ganzen Systemes* (von Anker und Magnet, oder zweier Magnete) *der kürzere Theil dieselbe Länge hat.*«

Schliefsen wir nach dem Vorhergehenden von diesem Satze auf den entsprechenden in dem vorliegenden Falle, so heifst derselbe für den erregten Magnetismus:

»*Bei verschieden langen Elektromagneten, die auf ihrer ganzen Länge mit gleicher Kraft magnetisirt sind, ist der in jedem Querschnitte in gleicher Entfernung vom nächsten Pole erregte Magnetismus gleich stark.*«

1) Diese Annalen Bd. 102, S. 220.

Um diesen Satz an den Versuchen von Lenz und Jacobi zu prüfen, haben wir die entsprechenden Resultate mit der Windungszahl zu dividiren, da alle Magnete mit einer ihrer Länge proportionalen Anzahl von Spiralwindungen bedeckt sind, und müssen dann gleiche Werthe erhalten. Die Zahl der Windungen verhält sich bei den 7 angewandten Magneten von 1', $1\frac{1}{2}'$.... 4' Länge wie 2:3:4:5:6:7:8. In der folgenden Tabelle sind nun die Quotienten dieser mit den Verhältnifszahlen dividirten Werthe des erregten Magnetismus in verschiedenen Entfernungen vom Ende eines jeden Magneten zusammengestellt.

XIV.

Länge d. Magnete	Entfernung des Querschnitts vom Ende eines jeden Magneten. 4,5″	6,5″	8,5″	12,5″	16,5″	20,5″
1'	0,03433					
1,5'	0,03693	0,04404	0,04506			
2'	0,03676	0,04368	0,04852			
2,5	0,03581	0,04380	0,04962	0,05630		
3'	0,03470	0,04281	0,04771	0,05828	0,06113	
3,5'	0,03150	0,03926	0,04568	0,05475	0,06017	0,06210
4'	0,03094	0,03863	0,04513	0,05496	0,06127	0,06506

Wir sehen, dafs die in jeder einzelnen Reihe befindlichen Zahlenwerthe gleich sind bis auf die Abweichungen, welche durch die schon oft erwähnte Verschiedenheit der auf die Inductionsspirale von beiden Seiten geübte Seitenwirkung des erregten Magnetismus hervorgerufen werden. Ein Vergleich mit den Quotienten in den Tabellen No. X bis XIII zeigt, dafs diese Abweichungen nicht gröfser sind als die, welche dort aus demselben Grunde hervortreten. Wir müssen daher die Richtigkeit auch dieses Satzes durch die Versuche von Lenz und Jacobi als bestätigt erkennen und uns in Folge dieser Untersuchungen für die nachstehenden Gesetze hinsichts der Wirkung des erregten Magnetismus in dem Eisenkerne der Elektromagnete erklären,

welche ihrer ganzen Länge nach mit der galvanischen Spirale bedeckt und von demselben Strome durchflossen sind.

1) »*Der gesammte in einem Stabe erregte Magnetismus ist dem freien Magnetismus seiner Endflächen proportional.*«

2) *Der erregte wie der freie Magnetismus sind den Quadratwurzeln der Durchmesser der Magnetkerne proportional.*«

3) »*Der erregte wie der freie Magnetismus sind den Quadratwurzeln der Länge der Elektromagnete proportional, wenn diese auf ihrer ganzen Länge mit derselben Windungszahl bedeckt und von demselben Strome durchflossen sind.*«

4) »*Der in jedem Querschnitt eines Magnetstabes erregte Magnetismus ist der Quadratwurzel der Entfernung des Querschnitts vom nächsten Ende des Magneten proportional.*«

5) »*Der erregte Magnetismus ist bei verschieden langen Elektromagneten in allen denjenigen Querschnitten gleich, welche gleich weit vom nächsten Pole entfernt sind.*«

Dieser letzte Satz giebt nun endlich noch ferneren Aufschlufs über die von mir im 102. Bande S. 217 u. f. ausgesprochene Bemerkung hinsichts des Längenverhältnisses zwischen Anker und Magnet. Ich habe daselbst zunächst für zwei gleich lange Stäbe den Satz ausgesprochen: »Die Tragkraft und Anziehung zweier Stäbe ist dieselbe, mag die magnetisirende Kraft über die ganze Länge eines oder beider Stäbe ausgebreitet seyn.« — Dieselbe Erscheinung bietet in den meisten Fällen auch ein System, wenn Anker und Magnet nicht gleiche Länge haben, nur »zeigt sich dann bei unverhältnifsmäfsig kurzen Magneten, bei denen die magnetisirende Kraft sich mehr auf einen Punkt zusammenhäuft, eine stärkere Anziehung, als nach der oben beobachteten Proportionalität der Fall seyn müfste.« [1]) Ich habe dabei bemerkt: »die Anziehung würde jedoch auch für diesen Fall dem Gesetze vollkommen entsprechen, wenn die Spirale über das ganze System ausgebreitet wäre.« Für diese Behauptung liefert der hier zuletzt aufgeführte Satz

1) Diese Ann. Bd. 102, S. 219.

den Beweis. Denn da für alle übrigen Fälle Anziehung und Tragkraft dem Quadrat des erregten Magnetismus proportional sind, so mufs diese Proportionalität auch in diesem stattfinden, d. h. Anziehung und Tragkraft müssen stets dem kürzeren Theile der Magnete, mögen diese ganz beliebige Länge haben, proportional, und wenn diese kürzeren Theile gleich sind, auch gleich seyn.

Die bei Bewicklung nur des einen Stabes sich zeigende Abweichung in dem eben erwähnten Falle kann also nur von der Anhäufung der Spirale herrühren und nähert sich, je mehr die Spiralwindungen auf einen Punkt zusammen kommen, d. h. je kürzer der Magnet wird, so lange asymptotisch einem Maximum, bis in demselben Sättigung hervortritt.

Berlin den 10. März 1858.

III. *Zur mathematischen Theorie elektrischer Ströme; von Ernst Schering.*

Die mathematische Theorie elektrischer Ströme ist in diesen Annalen schon häufiger erörtert und namentlich sind die von Weber und Neumann darüber erschienenen Untersuchungen im Auszuge mitgetheilt worden. Die unter obigem Titel gedruckte Abhandlung, welche von der philosophischen Facultät in Göttingen im Jahre 1857 den Preis erhalten, steht mit den erwähnten Untersuchungen im engsten Zusammenhang, wie aus folgender kurzer Uebersicht der Resultate ersehen werden wird.

§. 1.

Es ist in diesen Annalen Bd. 31, S. 483 von Lenz über die von Faraday entdeckte Volta-Induction zuerst folgende

Erfahrungsregel aufgestellt worden: in einem metallischen Leiter, der sich in der Nähe eines galvanischen Stromes oder eines Magneten bewegt, entsteht ein Strom, der eine solche Richtung hat, dafs er in dem Drahte, wenn dieser in Ruhe wäre, vermöge der Einwirkung des anderen galvanischen Stromes oder des Magneten eine gerade entgegengesetzte Bewegung hervorbringen würde, wofern man denselben nur in der Richtung der ertheilten Bewegung und der entgegengesetzten beweglich voraussetzt.

§. 2.

Dieser Erfahrungsregel hat Neumann noch als Ergänzung den Satz beigefügt:

dafs die Intensität der momentanen Induction proportional ist der Geschwindigkeit, mit welcher der Leiter bewegt wird.

§. 3.

Sodann hat Neumann, auf diese beiden Sätze gestützt, in den Abhandlungen der Berliner Akademie vom Jahre 1845 folgendes allgemeine Inductions-Gesetz aufgestellt:

Die in einem Elemente des bewegten Drahtes (als Leiter) inducirte elektromotorische Kraft ist gleich einer Constanten ε multiplicirt mit der Geschwindigkeit des Elements und mit der nach der negativen Richtung der Bewegung zerlegten (durch Ampère's Formel gegebenen elektrodynamischen) Wirkung des inducirenden Stromes auf das Element, dieses durchströmt gedacht von einem positiven Strome mit der Intensität $= 1$.

§. 4.

Dieses Neumann'sche Gesetz genügt nun zur vollständigen Bestimmung jeder durch *Ortsveränderung* des Leiters oder des inducirenden Stromes hervorgebrachten Induction, da solche nur von den *relativen* Ortsänderungen der Elemente des Leiters und des Stromes abhängt; umfafst aber noch nicht die Bestimmung der durch eine *Stromänderung* hervorgebrachten Induction:

Aus diesem Gesetze ergiebt sich für die auf den inducirten Leiter ausgeübte *elektromotorische Kraft* folgender analytische Ausdruck:

$$\varepsilon i dt \frac{ds\,ds'}{rr}\left(\frac{dr}{ds}\frac{dr}{ds'} - 2r\frac{ddr}{ds\,ds'}\right)\left(\frac{dr}{dw}\frac{dw}{dt} + \frac{dr}{dw'}\frac{dw'}{dt}\right),$$

worin s und s' die Curven bezeichnen, welche der inducirende Strom und der Leiter bilden, ds und ds' ihre Elemente, und r die Länge der von einem Punkt des ds nach einem Punkte des ds' in positiver Richtung gezogenen Geraden. Es ist i die mit der magnetischen Krafteinheit gemessene Intensität des inducirenden Stromes und zwar positiv oder negativ genommen, je nachdem die Richtung der Bewegung der positiven Elektricität des Stromes mit der Richtung, in welcher ds positiv vorausgesetzt war, übereinstimmt oder ihr entgegengesetzt ist. Bei den Ortsveränderungen des Stromes durchlaufen die einzelnen Punkte der Curve s Bahnen von verschiedener Länge. Die mit der Zeit t veränderliche Gröfse w soll von jeder Bahnlänge auf eine besondere Weise abhängig gedacht werden und zwar so, dafs w zu einer und derselben Zeit für alle Punkte des Stromes einen gleichen Werth hat. In entsprechender Beziehung wie w zu s steht w' zu s'. Es sind also $\frac{dw}{dt}$ und $\frac{dw'}{dt}$ constant für alle Punkte der Curven s und s'; im Allgemeinen unterscheiden sie sich von den Geschwindigkeiten, mit welchen sich diese Punkte bei den Ortsveränderungen des Stromträgers und des Leitungsdrahtes bewegen. Sie können diesen Geschwindigkeiten nur dann gleich seyn, wenn die Curven s und s' parallel zu sich selbst fortgeschoben werden.

§. 5.

Zur Bestimmung der durch eine *Stromänderung* hervorgebrachten Induction hat aber Neumann folgendes Gesetz aufgestellt: erhält in einem Stromelement ids die Stromstärke i während der Zeit dt einen Zuwachs $\frac{di}{dt}dt$, so wird dadurch in demElement ds' eines geschlossenen Leiterumgangs s' eine elektromotorische Kraft erregt, die den Werth

$$-\varepsilon dt \frac{ds\,ds'}{r} \cos(ds\,.\,ds') \frac{di}{dt}$$

hat, wenn man mit $\cos(ds, ds')$ den Cosinus desjenigen Winkels bezeichnet, welchen die Richtungen der Elemente ds und ds' mit einander bilden.

§. 6.

Aus der Vereinigung der beiden unter 4 und 5 angeführten Gesetze hat endlich Neumann sein allgemeines Princip der mathematischen Theorie inducirter elektrischer Ströme abgeleitet, welches er in den Abhandlungen der Berliner Akademie vom Jahre 1847 folgendermafsen ausspricht:

wird ein geschlossenes, unverzweigtes, leitendes Bogensystem $A_{,}$ durch eine beliebige Verrückung seiner Elemente, aber ohne Aufhebung der leitenden Verbindung derselben, in ein anderes $A_{,,}$ von neuer Form und Lage übergeführt, und geschieht diese Veränderung von $A_{,}$ in $A_{,,}$ unter dem Einflufs eines elektrischen Stromsystems $B_{,}$, welches gleichzeitig durch eine beliebige Verrückung seiner Elemente eine Veränderung in Lage, Form und Intensität von $B_{,}$ in $B_{,,}$ erfährt, so ist die Summe der elektromotorischen Kräfte, welche in dem leitenden Bogensystem durch diese Veränderungen inducirt worden sind, gleich dem mit der Inductions-Constante ε multiplicirten Unterschied der Potentialwerthe des Stromes $B_{,,}$ in Bezug auf $A_{,,}$ und des Stromes $B_{,}$ in Bezug $A_{,}$, wenn $A_{,,}$ und $A_{,}$ von der Stromeinheit durchströmt gedacht werden.

Es ist der Potentialwerth eines in der Bahn s befindlichen Stromes von der Intensität i in Bezug auf einen in s' laufenden Strom von der Intensität i' das über beide Curven s und s' ausgedehnte Doppelintegral

$$-\int \frac{1}{r} \cos(ds\,.\,ds')\, i\,ds\, i'\,ds'.$$

§. 7.

Nun war aber von Weber in seinen elektrodynamischen Maafsbestimmungen folgendes Grundgesetz der elektrischen

Wirkungen aufgestellt worden, worin auch die elektrischen Inductionsgsgesetze mit enthalten seyn müssen, nämlich das Gesetz, wonach zwei elektrische Massen e und e', die jede in einem Punkte vereinigt sind, auf einander eine abstofsende Kraft ausüben, deren Maafs

$$\frac{ee'}{rr}\left(1-\frac{1}{cc}\frac{dr^2}{dt^2}+\frac{2}{cc}r\frac{ddr}{dt^2}\right)$$

ist, wenn man mit r den Abstand der beiden Massen von einander und mit c die Geschwindigkeit

$$439450\,.\,10^6\,.\,\frac{\text{Millimeter}}{\text{Sekunde}}$$ bezeichnet.

Das Maafs der elektrischen Massen (e und e') ist diejenige elektrische Masse, welche auf eine gleich grofse in der Entfernung von Einem Millimeter ruhende elektrische Masse die Einheit der Kraft ausübt, d. i. diejenige Kraft, vermöge welcher ein die elektrische Masse fest einschliefsender Körper von der ponderabeln Masseneinheit (Milligramm) in Einer Sekunde die Einheit der Geschwindigkeit erhält.

In bekannten Zeichen kann hiernach die Einheit der Kraft durch

$$\text{Milligramm}\,.\,\frac{\text{Millimeter}}{\text{Sekunde}^2}$$

dargestellt werden, und also ist, wenn E die Einheit der elektrischen Masse bezeichnet

$$EE=\frac{\text{Milligramm}\,.\,\text{Millimeter}^3}{\text{Sekunde}^2}\,.$$

Nach mechanischen Begriffen wird hieraus die Einheit der Stromintensität abgeleitet

$$=\frac{E}{\text{Millimeter}}\,.\,\frac{\text{Millimeter}}{\text{Sekunde}}=\sqrt{\frac{\text{Milligramm}\,.\,\text{Millimeter}^3}{\text{Sekunde}^4}}$$

wodurch augedrückt wird, dafs die Stromeinheit stattfinde, wenn in jedem Millimeter des Leiters die Einheit der elektrischen Masse (E) enthalten ist und mit der Einheit der Geschwindigkeit $\left(=\frac{\text{Millimeter}}{\text{Sekunde}}\right)$ bewegt wird.

Bezeichnet i die auf bekannte Weise aus den magnetischen Wirkungen gefundene Intensität eines Stromes, so ist

$$i = 2\sqrt{2} \cdot \frac{e}{c} \frac{ds}{dt},$$

wenn $\frac{ds}{dt}$ die Geschwindigkeit der Elektricitäten des Stromes und e die in jeder Längeneinheit des Leiters enthaltene Zahl von Einheiten der elektrischen Masse, und c oder $\frac{c}{2\sqrt{2}}$ eine gegebene constante Geschwindigkeit bedeutet, nämlich

$c = 439450 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{Millimeter}}{\text{Sekunde}}$, also $\frac{c}{2\sqrt{2}} = 155370 \cdot 10^6 \frac{\text{Millimeter}}{\text{Sekunde}}$

Diesem Ausdrucke der Stromintensität liegt aber eine andere Einheit als die oben angegebene zu Grunde, nämlich die sogenannte magnetische Einheit der Stromintensitäten. Die letztere Einheit unterscheidet sich aber von der ersteren (nach mechanischen Begriffen festgestellten) dadurch, dafs die *Geschwindigkeit*, mit welcher die Elektricität im Leiter strömt, statt nach absolutem Maafse, in Theilen einer in der Natur als constant gegebenen Geschwindigkeit (welche nach absolutem Maafse $= 155370 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{Millimeter}}{\text{Sekunde}}$ gefunden worden) ausgedrückt wird. Die letztere Einheit ist daher $155370 \cdot 10^6$ Mal gröfser als die erstere.

§. 8.

Um nun das unter 6 angeführte allgemeine Princip aus dem unter 7 angeführten Grundgesetze zu beweisen, hat Neumann letzteres auf die in der Bahn ds sich bewegenden Elektricitäten $+ eds$ und $- eds$, die den galvanischen Strom mit der Intensität $i = 2\sqrt{2} \frac{e}{c} \frac{ds}{dt}$ und der Intensitätsänderung $\frac{di}{dt} = 2\sqrt{2} \frac{e}{c} \frac{dds}{dt^2}$ bilden, und auf die in der Leitung ds' befindlichen ruhenden oder bewegten Elektricitäten $+ e'ds'$ und $- e'ds'$ angewendet und daraus für die elektromotorische Kraft, welche die positive Elektricität $+e'$ und die negative $- e'$ von einander zu scheiden und zwar erstere in der Richtung des Elements ds die andere in der gerade entgegengesetzten zu bewegen strebt, folgenden analytischen Ausdruck abgeleitet:

$$8\frac{ee'}{cc}\,dt\,\frac{ds\,ds'}{rr}\left\{\begin{array}{l}\left(2r\frac{d\,dr}{ds\,dw}-\frac{dr}{ds}\frac{dr}{dw}\right)\frac{dw}{dt}\frac{dr}{ds'}\frac{ds}{dt}\\+\left(2r\frac{d\,dr}{ds\,dw'}-\frac{dr}{ds}\frac{dr}{dw'}\right)\frac{dw'}{dt}\frac{dr}{ds'}\frac{ds}{dt}\\+\left(\;r\frac{dr}{ds}\frac{dr}{ds'}\frac{dds}{dt^2}\right.\end{array}\right.$$

Für die Fälle, in welchen die einzelnen Theile des inducirenden Stromes entweder nur eine Aenderung der Intensität i oder des Ortes seines Trägers s oder die Theile des Leiters s' eine Orts- und Gestaltsänderung erleiden, ist von jenem allgemeinen Ausdruck für die Elementarinduction das dreifache Integral nach ds, ds' und dt auf ein zweifaches ds und ds' zurückgeführt und also für diese Fälle das allgemeine Princip aus dem Grundgesetz bewiesen. Doch fehlte es noch an einem allgemeinen Beweise, welcher die hierunter nicht begriffenen Fälle mit umfafste.

§. 9.

Der vollständige Beweis des Neumann'schen Princips (6) aus dem Weber'schen Grundgesetze (7) bildete den Gegenstand einer im Jahre 1856 von der Göttinger philosophischen Facultät gestellten Preisaufgabe, welche durch die unter obigem Titel erschienene Abhandlung gelöst worden ist. Diese Lösung besteht aber im Wesentlichen darin, dafs der aus dem Grundgesetze für die elementare elektromotorische Kraft abgeleitete Ausdruck (8) nach Weglassen des Factors $dt\,ds\,ds'$ und nach Einführung der Gröfsen

$$\frac{8ee'}{cc}\left(\frac{dr}{dw}\frac{dw}{dt}\frac{ds}{dt}+\frac{dr}{dw'}\frac{dw'}{dt}\frac{ds}{dt}\right)=u$$

$$8\frac{ee'}{cc}\frac{1}{r}\frac{d(r\,dr)}{ds\,ds'}=-8\frac{ee'}{cc}\frac{1}{r}\cos(ds.ds')=p$$

$$8\frac{ee'}{cc}r\frac{d\,ds}{dt^2}=q$$

in die Form

$$\frac{d}{dt}\left(p\frac{ds}{dt}\right)-\frac{dd}{ds\,ds'}(q+u)-\frac{d}{ds}\left(p\frac{ds^2}{dt^2}-\frac{u}{r}\frac{dr}{ds'}\right)$$

$$-\frac{d}{ds'}\left(p\frac{ds}{dt}\frac{ds'}{dt}+\frac{u}{r}\frac{dr}{ds}\right)$$

gebracht wird [1]). Diese besitzt gegen die obige den Vorzug, dafs derjenige Theil von welchem das Potential abhängt als Derivirte nach der Zeit auftritt, und alle übrigen Theile als Derivirte nach den Curvenelementen erscheinen, so dafs für jedes Glied wenigstens eine Integration allgemein ausgeführt werden kann.

Den Integralwerth der während der Zeit von t_i bis t_{ii} von dem ganzen Strome is auf den geschlossenen Leiter s' ausgeübten elektromotorischen Kraft erhält man aus dieser Formel durch Multiplication mit $ds\,ds'\,dt$ und darnach ausgeführter dreifacher Integration. Nur das erste Glied, die Derivirte nach der Zeit, ergiebt einen im Allgemeinen von Null verschiedenen Werth, da die übrigen Glieder Derivirte nach den Curvenelementen sind, deren Integrale ausgedehnt über die ganzen geschlossenen Curven verschwinden. Bezeichnet man mit P_i den Werth des Integrals

$$-\int \frac{1}{r}\cos(ds\,.\,ds')\,i\,ds\,ds'$$

für die zur Zeit t_i stattfindende gegenseitige Lage der Curven s und s' und die gleichzeitige Intensität i, und mit P_{ii} den entsprechenden Werth für die Zeit t_{ii} und setzt

$$\varepsilon = 2\sqrt{2}\,\frac{e'}{c},$$

so ergiebt sich der genannte Integralwerth der elektromotorischen Kraft gleich

$$\varepsilon P_i - \varepsilon P_{ii}.$$

Dieser Ausdruck enthält das oben unter 6 angeführte Neu-

1) Der aus dem Neumann'schen Inductionsgesetze abgeleitete Ausdruck (4) für die durch Ortsveränderungen hervorgebrachte elementare Induction wird nach einer ähnlichen Umformung zu:

$$\frac{d}{dt}\left(p\frac{ds}{dt}\right) - \frac{d\,du}{ds\,ds'} - \frac{d}{ds}\left(p\frac{ds^2}{dt^2} + \frac{u}{r}\frac{dr}{ds}\right) - \frac{d}{ds'}\left(p\frac{ds}{dt}\frac{ds'}{dt} + \frac{u}{r}\frac{dr}{ds}\right),$$

wenn man die Constanten i, ε auf die oben angegebene Weise durch $\frac{ds}{dt}$, e, e', c ersetzt.

mann'sche Princip der mathematischen Theorie inducirter elektrischer Ströme.

§. 10.

Aus diesem Lehrsatze leuchtet die Wichtigkeit ein, welche die darin auftretende von Neumann zuerst in die Elektrodynamik eingeführte *Potentialfunction* besitzt. Sie gewährt der Analysis, die diesen Zweig der mathematischen Physik zum Gegenstand hat, eine gröfsere Durchsichtigkeit, als ohne die Benutzung dieser Function erreichbar ist. Um die Wichtigkeit dieser *Potentialfunction* noch mehr ins Licht zu stellen, ist nun ferner in vorliegender Abhandlung noch gezeigt worden, wie sich dieselbe *Potentialfunction* benutzen lasse, um auch die übrigen von Ampère schon früher aufgestellten, so wie die hieraus wieder von Neumann abgeleiteten elektrodynamischen Gesetze unmittelbar aus dem Weber'schen Grundgesetze (7) zu beweisen.

§. 11.

Zunächst ist der von Ampère aufgestellte Ausdruck für die von zwei Stromelementen ids und $i'ds'$ mit constanten oder veränderlichen Intensitäten auf ihre Träger gegenseitig ausgeübten Abstofsungskraft:

$$-\frac{ii'}{rr}\,ds\,ds'\,(2\cos\varepsilon - 3\cos\theta\cos\theta')$$

hergeleitet. Als Maafs der Intensität liegt hierbei die von den magnetischen Wirkungen entnommene Krafteinheit zu Grunde. Es bedeutet ε den von den Richtungen der Elemente ds und ds' eingeschlossenen Winkel, θ und θ' diejenigen Winkel, welche die von einem Punkte in ds nach einem Punkte in ds' in positiver Richtung genommene Gerade r mit den Stromelementen ds und ds' bildet.

§. 12.

Für eben dieselbe Kraft ist dann der Ausdruck

$$-ids\,i'ds'\left(r\frac{dd\frac{1}{r}}{ds\,ds'} - \frac{1}{rr}\,\frac{d(rdr)}{ds\,ds'}\right)$$

aufgestellt, der sich besonders zur Grundlage der weiteren Untersuchungen eignet. Nennt man x' die eine der rechtwinkeligen Coordinaten eines in ds' befindlichen Punktes, so erhält man durch Multiplication jenes Ausdrucks in $\frac{dr}{dx}$ für die zur x' Axe parallele Componente der Kraft mit welcher das Stromelement ids auf $i'ds'$ wirkt, die Formel

$$-ids\,i'ds'\left[\frac{d}{ds}\left(\frac{d\frac{1}{r}}{ds'}\,\frac{rdr}{dx'}\right)\right.$$
$$\left.-\frac{d}{ds'}\left(\frac{1}{r}\,\frac{d(rdr)}{ds\,dx'}\right)+\frac{d}{dx'}\left(\frac{1}{r}\,\frac{d(rdr)}{ds\,ds'}\right)\right].$$

Diese Formel giebt aber auch das Maafs des Drehungsmoments derselben Kraft in Bezug auf irgend eine Axe als Drehungsaxe, wenn man x' den Winkel bedeuten läfst, welcher der Drehungsaxe zugehört.

§. 13.

Ampère giebt in seinem *Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques* [1]) als Maafs der zur x Axe parallelen Componente der von dem Gesammtstrom is auf $i'ds'$ ausgeübten elektrodynamischen Kraft

$$-ii'ds'\left(\cos\mu\int\frac{xdy-ydx}{r^3}-\cos\nu\int\frac{zdx-xdz}{r^3}\right),$$

wobei vorausgesetzt ist, dafs sich ein Punkt von ds' im Anfangspunkte der Coordinaten befindet. Es bezeichnen μ und ν die Winkel, welche ds mit der y und z Axe bildet, x, y, z die rechtwinkeligen Coordinaten eines Punktes in ds, die Elemente dx, dy, dz die Projectionen von ds auf die entsprechenden Axen. Durch Integration nach ds wird dieser besonders für numerische Berechnungen geeignete Ausdruck aus dem vorhergehenden (12) erhalten.

§. 14.

Jener Ausdruck (12) für die Componente dient auch zum Beweise von Neumann's Satz [2]), dafs die gesammte

1) *Mémoires de l'Academie des sciences de l'Institut de France Année* 1823, *p.* 214.

2) Anmerkung zur Abhandlung über ein allgemeines Princip. Abhandl. der Berl. Akademie 1847.

zwischen is und $i's'$ wirkende elektrodynamische Kraft als Maafs der Componente in irgend einer Richtung die nach dieser Richtung genommene Derivirte des negativen Werthes des Potentials

$$-\int \frac{1}{r} \cos(ds.ds')\, ids.i'ds'$$

hat. Auf ähnliche Art ergiebt sich das Drehungsmoment dieser Kraft gleich der negativen Derivirten des Potentials nach dem Winkel, welcher der Rotationsaxe des Drehungsmomentes entspricht.

§. 15.

Um die Lehrsätze, die die Wechselwirkungen zwischen Magneten und galvanischen Strömen betreffen, zu beweisen, sind in der Abhandlung einige geometrische Hülfssätze gebraucht, von welchen hier nur die angeführt werden sollen, die zur Erläuterung der Lehrsätze selbst beitragen.

Es bezeichnen λ und λ' zwei stetig gekrümmte Flächen, die resp. von den beiden in sich geschlossenen Curven s und s' ganz begränzt werden und die keinen Punkt gemeinschaftlich haben. Es seyen $d\lambda$, $d\lambda'$ Elemente der Flächen, ξ, η, ζ, ξ', η', ζ' rechtwinkelige Coordinaten zweier Punkte, die resp. in der Nähe von den Elementen $d\lambda$ und $d\lambda'$ liegen. Von diesen Flächentheilchen werden nach einer bestimmten Seite Normalen errichtet und deren unendlich kleinen Abschnitte, die den Flächen zunächst liegen, gleich dN und dN' gesetzt. Diese Seite der Fläche, nach welcher die Normalen gerichtet sind, heifse die positive Seite; sie läfst sich auf folgende Art bestimmen. Denkt man sich z. B. die Fläche λ auf das von dem Aequatorkreise begränzte Stück Ebene in der Weise ausgebreitet, dafs die Elemente ds der Curve s, die ganz in die Kreislinie fällt, positiv von West nach Ost gerichtet sind, so ist die nach Norden zugewandte Seite der Fläche die positive, die nach Süden die negative. Bezeichnet ϱ den Abstand des Punktes (ξ', η', ζ') von (ξ, λ, ζ), so gelten für ϱ die Differentialgleichungen

$$\frac{dd\frac{1}{\varrho}}{d\xi^2} + \frac{dd\frac{1}{\varrho}}{d\eta^2} + \frac{dd\frac{1}{\varrho}}{d\zeta^2} = 0$$

$$\frac{d\frac{1}{\varrho}}{d\xi} = -\frac{d\frac{1}{\varrho}}{d\xi'}$$

$$\frac{d\frac{1}{\varrho}}{d\eta} = -\frac{d\frac{1}{\varrho}}{d\eta}$$

$$\frac{d\frac{1}{\varrho}}{d\zeta} = -\frac{d\frac{1}{\varrho}}{d\zeta'}$$

und deshalb ist

$$\int \frac{dd\frac{1}{\varrho}}{dN\,dN'} d\lambda\, d\lambda' = -\int \frac{1}{r} \cos(ds\, ds')\, ds\, ds',$$

worin das doppelte Flächenintegral über die ganzen λ und λ' und das doppelte Curvenintegral über die ganzen geschlossenen Curven s und s' auszudehnen sind.

Nach dem anderen Hülfssatze ergiebt sich für den körperlichen Winkel, der von den aus einem Punkte o an die Punkte einer Curve s gezogenen Geraden gebildet wird, das Maafs, welches als das von dem genannten Kegel aus der Kugel mit dem Radius 1 und dem Punkte o als Mittelpunkt abgetrennten Flächenstück definirt ist, gleich

$$d\frac{1}{\varrho}$$
$$dN.$$

§. 16.

Die beiden hier noch zu erwähnenden Lehrsätze hat schon Ampère aufgestellt; der eine betrifft ein Solenoid. Mit diesem Namen belegt Ampère ein System von unendlich kleinen geschlossenen Curven s, die gleich grofse ebene Flächen L begränzen, und die so angeordnet sind, dafs es eine stetige Linie g giebt, welche mit jeder Fläche L einen Punkt gemeinschaftlich hat, an dieser Stelle mit der positiven Normale N dieser Fläche gleich gerichtet ist und durch

je zwei benachbarte Flächen L in gleich lange aber unendlich kurze Abschnitte G getheilt wird. Dasjenige Ende des Solenoids, bei dem die Linie g anfängt, also die negative Seite der ersten Fläche L nach aufsen gekehrt ist, heifst das negative Ende, das andere, bei dem g aufhört und die letzte Fläche L ihre positive Seite nach aufsen kehrt, das positive Ende. Ein elektrodynamisches Solenoid ist ein Solenoid, dessen einzelne Curven von galvanischen Strömen mit gleichen Intensitäten i durchlaufen werden und zwar in derselben Richtung, in welcher die Curvenelemente ds positiv angenommen waren.

Der eine Lehrsatz lautet: die von dem Strome $i's'$ auf das mit dem negativen Ende sich ins Unendliche erstreckende elektrodynamische Solenoid ausgeübte Kraft ist gleich derjenigen, mit welcher derselbe Strom $i's'$ auf ein an der Stelle des positiven Endes des Solenoids befindliches nordmagnetisches Theilchen $\mu = \frac{iL}{G}$ wirken würde. Nach Gaufs »Allgemeiner Theorie des Erdmagnetismus Art. 37 und 38« ist das Potential dieser Kräfte das Product von $\mu i'$ in den körperlichen Winkel, dessen Spitze in einem Punkte des magnetischen Theilchens liegt, und der von den aus diesem Punkte an die Punkte der Curve s' gezogenen Geraden gebildet wird.

Der andere Lehrsatz sagt aus, dafs die Wechselwirkung zwischen zwei galvanischen Strömen is und $i's'$ gleich ist der Wechselwirkung zwischen den beiden von den Curven ss' begränzten und auf solche Weise mit magnetischem Fluidum belegten Flächen λ und λ', dafs sich auf den positiven Seiten oder Flächen eine dünne Schicht nordmagnetisches Fluidum und auf der negativen eine Schicht südmagnetisches Fluidum befindet, welche beide zusammen den Elementen $d\lambda$ und $d\lambda'$ resp. die magnetischen Momente $\mu d\lambda = id\lambda$ und $\mu' d\lambda' = i' d\lambda'$ ertheilen. Der Beweis stützt sich auf die durch den ersten Hülfssatz (15) gegebene Gleichung.

$$-\int \frac{1}{r} \cos(ds, ds')\, i\, ds\, i'\, ds' = \int \frac{dd\frac{1}{\varrho}}{dN\, dN'} \mu\, d\lambda\, \mu'\, d\lambda',$$

deren erstes Glied das Potential des einen Stromes is in Bezug auf den anderen $i's'$ und dessen zweites Glied das Potential der beiden magnetischen Flächen $\mu\lambda$ und $\mu'\lambda'$ in Bezug auf einander bedeutet. Aus demselben Hülfssatz folgt auch, dafs das Potential von einem Magnet in Bezug auf einem galvanischen Strom is, von welchem unter anderen auch die Fläche λ begränzt wird, gleich

$$\int \frac{dV}{dN}\, i\, d\lambda$$

ist, wenn V das Potential des Magnets in Bezug auf einen in $d\lambda$ befindlichen Punkt bedeutet.

IV. *Ueber Bewegung und Beschaffenheit der Atome; von R. Hoppe.*

Da die Aufgabe, die bestimmte Bewegung darzustellen, auf welcher die Wärme beruht, im Grofsen und Ganzen noch nicht gelöst worden ist, so sind wir auf den langsameren Weg allmählicher Annäherung angewiesen, die offenbar von sehr verschiedenen Seiten aus begonnen werden kann. Eine Hauptschwierigkeit liegt gegenwärtig darin, dafs das Bereich der möglichen Hypothesen sehr grofs, was wir hingegen an Motiven zur Entscheidung haben, äufserst gering ist. Der Uebergang von der physikalischen zur mechanischen Betrachtung der Wärme geschah nämlich durch das Princip der lebendigen Kräfte, das bekanntlich von der Art der Bewegung unabhängige Resultate liefert, so dafs man in deren Uebereinstimmung mit der Erfahrung noch keine Bestätigung der speciellen Annahmen sehen darf.

Um dieser Schwierigkeit willen scheint mir eine vorausgehende Orientirung im Bereich der Annahmen zur För-

derung des Problems wesentlich beizutragen. Eine Beurtheilung einiger für die mechanische Wärmetheorie aufgestellten Hypothesen wird es rechtfertigen, wenn ich die allgemeinen Erfordernisse einer Mechanik der Atome zum besonderen Gegenstand einer Besprechung mache. Ich nenne zuerst Krönig's »Grundzüge einer Theorie der Gase«, eine Abhandlung in dies. Ann. Bd. 99, S. 315, welche von vielen Seiten Beistimmung, jedoch, so viel mir bekannt ist, noch keine eingehende Kritik erfahren hat. Krönig nimmt an, dafs die Atome der Gase sich wie elastische Kugeln verhalten, die so lange sie sich nicht berühren, keinerlei Wirkung auf einander üben. Durch ihre Bewegung wird die Wärme, durch ihr Anschlagen an die das Gas einschliefsenden Wände die Expansionskraft erklärt.

Zunächst dürfen wir die Ungewifsheit darüber nicht bestehen lassen, an welche Geschwindigkeit man bei der Bewegung zu denken hat. Sie wird mit der Geschwindigkeit der Diffusion der Gase auf gleiche Linie gestellt, was auf irriger Vorstellung zu beruhen scheint. Wir wollen zu diesem Ende die mittlere Geschwindigkeit der Atome einer Masseneinheit Luft von 0° C. unter einem Atmosphärendruck aus der lebendigen Kraft bestimmen, welche nach bekanntem Gesetze der darin enthaltenen Wärmemenge entspricht, d. i. derjenigen, welche erfordert wird, um bei constantem Volum die Temperatur derselben Masse von — 273° auf 0° zu bringen. Man kann sich hiezu, um jede Verwandlung von Bewegung in Spannung auszuschliefsen, solche Atome ausgewählt denken, welche zu irgend einer Zeit in keiner Berührung sind. Bezeichnet a einen Atmosphärendruck, d die Dichtigkeit der Luft im genannten Zustande, c, c' die Capacitäten bei constantem Druck und Volum, so ist die lebendige Kraft oder das halbe Quadrat der mittleren Geschwindigkeit

$$= \frac{a}{d\left(\frac{c}{c'} - 1\right)}.$$

Meter, Kilogramm und Sekunde zu Einheiten genommen, hat man folgende Werthe

$$a = 10330\,g; \qquad g = 9{,}8127$$

$$d = 1{,}299; \qquad \frac{c}{c'} = 1{,}421$$

woraus eine Geschwindigkeit = 609 hervorgeht, die nach Krönig's Hypothese alle Atome durchschnittlich haben müfsten.

Um diefs Ergebnifs mit der Erfahrung zu vergleichen, wollen wir zuerst die Bewegung als nicht gehemmt durch Zusammenstofsen von Atomen betrachten. Es sey ein halbkugelförmiges Gefäfs von 2 Decimeter Umfang, die Oeffnung nach unten gekehrt, mit Wasserstoff gefüllt, unten geschlossen, dann eine Sekunde lang geöffnet, und wieder geschlossen. Da der gröfste Weg, den ein Atom innerhalb zurücklegen kann, 1 Decim. beträgt, so hätte man der Berechnung zufolge zu erwarten, dafs nach $\frac{1}{6000}$ Sekunde aller Wasserstoff entwichen wäre. Man würde jedoch finden, dafs nach einer vollen Sekunde noch mehr als die Hälfte zurückgeblieben ist.

Soll nun ferner diese Abweichung durch Zusammenstofsen der Wasserstoffatome mit den Luftatomen erklärt seyn, so mufs man annehmen, dafs mehr als die Hälfte der erstern auf dem kurzen Wege 6000mal zurückgeworfen wird. Kurz man mufs den Atomen Bahnen zuschreiben, die, wenn sie auch eine Menge kleiner gerader Linien enthalten sollten, wenigstens mit Krönig's Ausdruck »geradlinig« nicht passend bezeichnet sind. Nur eine Oscillation auf unmefsbar kleinem Raume kann in der That die Bewegung seyn, welche die Wärme ausmacht. Diefs Ergebnifs ändert sich nicht im mindesten, wenn ein Theil des Gases etwas schneller fortschreitet. Denn rückte ein Atom auch 6 Meter in der Sekunde fort — eine Geschwindigkeit die Krönig dem Schwefelwassersroff sicher nicht zuzuschreiben denkt, indem er darauf hinweist, in wie kurzer Zeit sich eine geringe Menge davon in einem grofsen Zimmer verbreitet — so enthielte diese Bewegung erst den 10000sten Theil der lebendigen Kraft des Atomes, und könnte bei der Theorie gar nicht in Rechnung gebracht werden.

Aufserdem giebt es aber eine Menge jedermann zugänglicher Beobachtungen, welche der Annahme entgegenstehen, dafs die Luftatome in schneller und weitgehender Bewegung begriffen seyen, wenn diese nicht durch besondere Ursachen: Bewegung fester Körper, ungleiche Dichtigkeit u. s. w. hervorgebracht wird. Dahin gehört z. B. die Langsamkeit der Wärmeleitung in der Luft, wenn sie von oben nach unten fortschreitet. Bei obiger Annahme wäre eine locale Temperatur in einem Gase überhaupt undenkbar, aufser bei sehr grofsen Höhenunterschieden.

Um das Ergebnifs bestimmter auszusprechen, so enthält es folgende zwei Sätze:

1) Wenn die Wärmemenge eines Gases die lebendige Kraft seiner Atome ist, so kann die Bewegung, welche diese lebendige Kraft enthält, nur in unmefsbar kleiner Ausdehnung stattfinden, und sich nur durch deren Kleinheit der Beobachtung entziehen.

2) Die Atome eines Gases unter Atmosphärendruck stehen nicht so weit von einander ab, oder ihre Wirkungsphären sind im Verhältnifs zu ihrem Abstande nicht so klein, dafs sie auf mefsbare Strecken ungehindert aneinander vorbeigehen könnten.

Diese zwei Sätze widerlegen Krönig's Hypothese dem Wortlaute nach zwar nicht, insofern dieselbe ganz unbestimmt läfst, wie oft die Atome aneinanderstofsen, und wie weit die geradlinige Bewegung sich erstrecken soll. Allein da die gesammte Durchführung derselben sich an die Vorstellung einer sehr ausgedehnten Atombewegung anschliefst, und die Theorie in diesem Sinne allerwärts verstanden zu werden scheint, so war es nicht überflüssig, das Irrige der Vorstellung nachzuweisen.

Betrachtet man Krönig's Annahme, wie sie sich jetzt gestaltet, so besteht das Unterscheidende, der Vibrationshypothese gegenüber, nur darin, dafs jedes Atom gewisse Strecken im indifferenten Zustande durchläuft, welcher in beliebigen, unregelmäfsigen Intervallen durch Zustände der Spannung unterbrochen wird; während bei der Vibration

die Spannung beständig ab- und zunehmend, das Gleichgewicht momentan ist. Handelt es sich nun um die Motive für eine Wahl zwischen beiden Hypothesen, so möchten wohl Viele geneigt seyn, für die Krönig'sche den Erfolg anzuführen, welchen dieselbe in der Erklärung der Expansionsgesetze gezeigt haben. Hierauf läfst sich aber zweierlei entgegnen.

So sinnreich auch die Methode ist, nach welcher Krönig die Deduction des Expansionsgesetzes durch eine so einfache Rechnung möglich macht, so beruht doch das Ergebnifs auf etwas anderem als auf seiner Hypothese. Dasselbe läfst sich nämlich, wie alle auf das Princip der lebendigen Kräfte gegründeten Resultate, aus beliebig vielen Annahmen ableiten. Ist z. B. die Abstofsung zweier gegen einander bewegten Atome irgend einer negativen Potenz ihres Abstandes proportional, so gebrauchen sie zum Austausch ihrer Bewegungen nahezu dieselbe Zeit, die sie zum Austausch ihrer Orte gebraucht haben würden, wenn sie aus gröfserer Entfernung mit unveränderter Geschwindigkeit fortgegangen wären. Es bedarf demnach nur derselben Wahrscheinlichkeitsschlüsse, um in Bezug auf die Wirkung vieler bewegter Atome auf die sie einschliefsenden Wände dieselben Resultate zu finden wie Krönig.

Stehen in Hinsicht auf diesen Punkt beide Hypothesen gleich, so giebt es einen zweiten, der sehr zum Nachtheil der einen spricht. Bei einem andauernd indifferenten Verhalten der Atome sind nämlich die Phänomene nicht mehr von den Eigenschaften der Atome und äufseren Einflüssen allein, sondern auch von den völlig uncontrolirten Wegen der einzelnen Atome abhängig, welche sich nur einer Wahrscheinlichkeitsrechnung unterwerfen lassen. Die Hypothese der geradlinigen Bewegung ist demnach nur im Stande, solche summarische Resultate zu liefern, auf welche die Verschiedenheit der Bewegung keinen Einflufs übt, und setzt hiermit dem Fortschritt der Wissenschaft eine unübersteigliche Gränze. Krönig selbst sagt, dafs ein genaues Zutreffen der Resultate nicht zu erwarten sey. Wo ist aber die Mög-

lichkeit, die Abweichungen quantitativ zu bestimmen, wenn der Zufall im Innern einwirkt?

Anders verhält es sich, wenn kein Atom seinen Ort verlassen kann, ohne dadurch Spannungen zu erregen oder zu vermindern. Allerdings kann auch hier ein Zufall thätig seyn; allein dessen Einfluſs wird durch die dauernde Wirkung der Kräfte mit der Zeit überwunden, und es stellt sich eine den letztern angemessene regelmäſsige Bewegung her, wie bei einer Saite, die an einer beliebigen Stelle angeschlagen worden ist, eine Bewegung, die vielleicht der Berechnung groſse Schwierigkeiten bietet, der aber wenigstens die Bedingungen zur Lösung nicht fehlen. Dieſs ist der Grund, warum die Vibrationshypothese die fortwährende Wirkung der Atome auf einander zur Voraussetzung macht. Es hieſse an der befriedigenden Lösung des Problems verzweifeln, wenn man von dieser Voraussetzung abgehen wollte, und dazu kann uns für jetzt keine einzige Thatsache veranlassen.

Was Clausius in seiner Abhandlung: »Ueber die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen« (Bd. 100, S. 353) zu Krönig's Darstellung hinzugefügt hat, berührt die hier angeregten Punkte in keiner Weise. Er bestimmt die Geschwindigkeit der Atome einerseits aus der lebendigen Kraft, anderseits unter der Annahme geradliniger Bewegung aus der Spannung; und da letztere nicht den vollen Werth der erstern ergiebt, so wird der Ueberschuſs an lebendiger Kraft durch zwei andere Arten von Bewegung erklärt: Rotation und innere Bewegung der Molecüle. Die Frage aber, wie eine Geschwindigkeit von etwa 400 Meter (so viel kommt nämlich noch immer auf fortschreitende Beweguug) mit der Erfahrung in Einklang zu bringen sey, bleibt auch hier unerörtert.

Daſs zwischen den Geschwindigkeiten der zwei Arten von Bewegung ein constantes Verhältniſs bestehe, wie es die Formel verlangt, findet Clausius in der Natur der Sache begründet, da sich allmählich ein gleichmäſsiger Zustand herstellen müſste. Was aber im angenommenen Falle,

wo jedes regulirende Element fehlt, wo je nach dem verschiedenen Zusammentreffen zweier Atome schnelle Rotation ebenso plötzlich erzeugt als aufgehoben werden kann, je eine Ausgleichung herbeiführen soll, habe ich nicht eingesehen. Nach Grundsätzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung ist die durchschnittliche Abweichung des Antheils an lebendiger Kraft, welche den verschiedenen Bewegungsarten zukommt, allerdings verschwindend klein, so grofs auch immer die mögliche Abweichung seyn mag. Nur eine wirkliche physische Ausgleichung, wie sie Clausius behauptet, eine allmähliche Annäherung an einen Beharrungszustand, wird nicht stattfinden, wenn die Wege der Molecüle von einander unabhängig sind.

Ein Versuch ganz entgegengesetzter Art ist Redtenbacher's »Dynamidensystem«, eine Schrift, deren Gegenstand und Zweck wenigstens zum Theil mit dem hier besprochenen zusammenfällt, indem sie sämmtliche Untersuchungen der Molecularmechanik umfassen, und den gegenwärtigen Stand der Wissenschaft in dieser Beziehung darlegen soll. Redtenbacher nimmt, indem er hauptsächlich Cauchy's Untersuchungen folgt, an, dafs jedes Körperatom von einer Menge Aetheratome eingehüllt sey, welche einander abstofsen, während erstere dieselben und einander anziehen. Die Wärme ist, wie er vermuthet, aber nicht nachweist, die lebendige Kraft, welche der radialen Composante der Bewegung der Aetheratome in Bezug auf das eingeschlossene Körperatom zukommt. Die Berechnung stellt nur die nächsten Folgen seiner Annahmen dar, deren Gewährleistung weniger in Resultaten als in ihrer allgemeinen Fassung gesucht wird, und ist noch nicht einmal soweit fortgeführt, dafs sie mit der empirischen Wärmetheorie in Verbindung gesetzt werden könnte. Statt dessen wird das Mariotte'sche Gesetz mit den Formeln verglichen, welche einem ruhenden Gleichgewicht der zwei Atomsysteme, also dem wärmelosen Zustand der Gase entsprechen. Ich erwähne diesen einen Misgriff blofs darum, weil Eisenlohr (Kritische Zeitschr. für Chemie, Phys. und Math. Bd. 1, S. 56) daraus

einen gegen das Princip gerichteten Vorwurf macht, der Redtenbacher nicht allein treffen würde. Eisenlohr nennt es eine einfache Thatsache der Erfahrung, dafs eine Luftmasse aus der Ferne ohne unmittelbare Berührung keinen merkbaren Einfluſs auf eine andere auszuüben im Stande sey. An welcher Art Bestätigung hier zu denken sey, mag dahingestellt bleiben. Er folgert daraus weiter, und mit ihm thun es Viele, dafs eine Abstofsung der Luftatome überhaupt der Erfahrung widerspreche, indem er hinzufügt: es sey in der That nicht möglich, die Elasticität der Gase anders zu erklären, als Krönig u. a. es gethan. Der Schlufs ist offenbar nicht richtig, weil er von einem Zustand auf den andern, ganz verschiedenen, gezogen wird. Die fragliche Thatsache setzt die Trennung der Luftmassen durch Wände, mithin einen Abstand der nächsten Atome voraus, gegen welchen die Entfernung benachbarter Atome bei freier Communication verschwindend klein ist. Die Function, welche die Abstofsung ausdrückt, kann für gröfsere Werthe des Abstandes schon negativ geworden seyn, während sie für viel kleinere dem Abstande nahezu umgekehrt proportional war. Hätte Eisenlohr seine Behauptung dahin beschränkt, dafs der Grad der Spannung im gewöhnlichen Zustande der Gase nicht aus der bloſsen Abstofsung zu erklären sey, so fehlte es nicht an Bestätigung; doch traf alsdann der Vorwurf bei Redtenbacher nicht zu, da dieser der Bewegung dieselbe Wirkung auf die Spannung zuschreibt wie Krönig.

Redtenbacher schickt seinem Werke eine Geschichte der Hypothesen über die physikalische Natur der Substanzen voraus. Nach meiner Meinung kann das Gesammtgebiet derselben gegenwärtig schon auf eine andre als die historische Darstellungsweise, welche jede Hypothese nur ihrem Urheber zuordnet, und als zeitweilige Stütze von dessen Ansichten betrachtet, Anspruch machen. Bisher hat die Physik mit Recht eine grofse Zurückhaltung gegen Hypothesen beobachtet, und allen Fleifs darauf verwandt, den Einfluſs der inneren Beschaffenheit der Materie zu eliminiren. Sie hat

dadurch ihre Festigkeit bewahrt, und doch einen reichen Gewinn an Gesetzen, die von keinen gewagten Speculationen abhängen, geerndtet. Die offen gebliebenen Fragen, welche nicht ebenso unabhängig zur Erledigung gebracht werden konnten, sind dadurch um so schärfer gezeichnet worden. Die Sachlage hat sich in neuster Zeit insoweit geändert, als die untastbaren Theile der Materie nicht mehr blofs als Mittel zur Erklärung dienen, sondern für sich physikalisches Element, Gegenstand der Untersuchung geworden sind: die Frage nach der Beschaffenheit der Atome hat ihren Zweck für sich. Wollen wir uns aber von diesem Untersuchsgebiete nicht mehr fern halten, so dürfen wir es auch nicht als ein Feld betrachten, auf dem allerlei willkührliche Vorstellungen Platz fänden, sondern als eins, das etwas mehr kritische Sichtung verlangt, als vorher nöthig war. In diesem Sinne soll das Folgende einige Punkte zur Besprechung bringen, welche mir eine solche zu erfordern scheinen. Ich betrachte dabei die Grundlagen der Mechanik als unverletzlich.

Der erste Punkt betrifft die Frage, warum man gewöhnlich den Atomen räumliche Ausdehnung zuschreibt, ohne doch deren Einfluſs in der Rechnung irgend zu berücksichtigen. Da dieſs Verfahren von Manchen als eine Sache der Willkühr, von Andern als eine Nothwendigkeit angesehen zu werden scheint, so finde ich Grund genug, den Schleier wegzuziehen, den man so gern darüber duldet. Der Begriff der Materie kann in der Theorie der Atome kein anderer seyn als in der Mechanik, da in jener alle nicht mechanischen Elemente auf rein mechanische zurückgeführt werden sollen. In der Mechanik tritt die Materie nur in zwei Beziehungen auf; sie hat Masse und Kräfte. Die Masse, als die Fähigkeit im ruhigen oder bewegten Seyn zu verharren, ist eine bloſse Quantität, bestimmt durch die erforliche Kraft, welche Bewegung in ihr erzeugt und verändert, und hat auſserdem als Merkmal nur einen Ort im Raume. Die Kraft, als die Fähigkeit einer Materie, anziehend oder abstoſsend die Bewegung einer zweiten zu verändern, ist

eine Quantität und hat Bezug auf zwei Orte, einen von dem aus, und einen auf den sie wirkt. In keiner dieser Beziehungen ist räumliche Ausdehnung enthalten. Im Gegentheil ist es nur möglich, die genannten Begriffe in der erforderlichen Schärfe und Einfachheit zu fassen, wenn man die Orte als Punkte denkt. Der Begriff in Bezug auf räumlich ausgedehnte Orte läfst sich erst aus diesem einfachen ableiten.

Es beruht auf einem Irrthum, wenn man die Sperrbarkeit der Materie als Beweis für ihre räumliche Ausdehnung anführt. Keine Masse kann durch sich selbst einer andern hindernd in den Weg treten, sondern nur durch abstofsende Kräfte; und diese sind allein fähig die Durchdringung zweier Massen zu verhindern; die Raumerfüllung trägt nichts dazu bei.

Eine Masse ohne Ausdehnung ist demnach kein Widerspruch; im Gegentheil ist das Wesen der Masse ohne Ausdehnung leichter zu begreifen als mit Ausdehnung. Da indefs die Möglichkeit einer in einem Raume stetig vertheilten Mafse nicht bestritten werden kann, so ist es gut, auch an die Folgen einer solchen Annahme zu denken.

Wenn man Zweck und Bedeutung der Atomenlehre festhält, so kann man einen noch so kleinen Körpertheil, der noch innern Veränderungen unterworfen ist, nicht ein Atom nennen, weil die Bestimmung dieser Veränderungen eine fernere Theilung des Theils verlangt. Will man also von ausgedehnten Atomen reden, so mufs man sie als absolut unveränderlich, als starr betrachten. Nun darf man aber nach Principien der Mechanik keine Berührung starrer Körper zulassen. Die Frage, wie eine Berührung verhindert werden kann, da bei continuirlicher Vertheilung der Kraft über das ganze Körperchen die Abstofsung des einzelnen Punktes, welcher dem Stofs eines andern Körperchens zunächst ausgesetzt ist, absolut Null ist, würde für sich eine Schwierigkeit ausmachen, und zu unnatürlichen Annahmen hindrängen. Geradezu den mechanischen Principien widersprechend ist aber die Annahme starrer

Atome in dem Falle, in welchem Clausius ihre Möglichkeit einräumt, wo nämlich gar keine Abstofsung stattfindet, und die Atome demnach häufig zusammenstofsen, ohne jedoch fähig zu seyn, ihre Bewegung auf einander zu übertragen.

Die Hypothese nicht starrer, raumerfüllender Theilchen ist keine atomistische; sie hat die Untersuchung eines Continuums zur Aufgabe, welche schon öfter und stets ohne Erfolg in Angriff genommen worden ist. Alles Mifsliche, was dieselbe enthält, ist durch die Kleinheit der Theile nur einstweilen in den Hintergrund gestellt, nicht gehoben.

Wenn die räumliche Ausdehnung der Molecüle sogleich in die Hypothesen aufgenommen wird, so scheinen mir folgende zwei Motive gewöhnlich zu Grunde zu liegen. Erstens will man nicht gern einen sich als möglich darstellenden Fall von der Untersuchung ausschliefsen; zweitens glauben Viele eine deutlichere Vorstellung von dem hypothetischen Zustande zu gewinnen, wenn sie die gewohnte Körperanschauung beibehalten.

Wollte man indefs, was den ersten Grund betrifft, auf allgemeinster Basis untersuchen, so würde die genannte Zulassung noch lange nicht hinreichen, die Allgemeinheit herzustellen. Es bleibt auch ohne Ueberschreitung der Gränzen der atomistischen Hypothese Raum genug zur Erweiterung der Basis. Ehe man diesen hinreichend erschöpft hat, ist das Uebergreifen in die Hypothese des Continuums ein ziemlich ungeordnetes und blindes Vorgehen.

Die Hülfe der Anschauung hingegen kann wohl jeder, der sie nöthig hat, sich selbst verschaffen, nicht aber ebenso leicht die Klarheit und Bestimmtheit des Gedankens ersetzen, wenn sie im Ausdruck der Annahme mangelt. Die wissenschaftliche Erklärung von Phänomenen besteht nicht in einer Zurückführung auf gewohnte Vorstellungen, sondern auf einfache und unveränderliche Gesetze, und letztere sind in der Regel nicht im Kreise der erstern zu finden.

Die vorstehenden Betrachtungen mögen es rechtfertigen, dafs ich im folgenden Satze keine entgegenstehenden An-

sichten als gleichberechtigt anerkenne. So lange wir die atomistische Hypothese verfolgen, müssen wir sagen: Ein Atom ist eine in einem Punkte befindliche, mit Kräften begabte Masse.

Dafs Masse und Kraft in jedem Punkte stets vereinigt auftreten, ist gleichfalls eine unbedingt nothwendige Bestimmung; denn ohne Kraft würde die Masse für unsere gesammte Wahrnehmung nicht existiren; ohne Masse stände der Ort der Kraft aufser aller ursächlichen Verbindung.

Es kann sich jetzt nur noch um die Quantitäten handeln. Da indefs, dem anticipirten Grundsatze aller Naturwissenschaft gemäfs, die Masse nicht blofs im Ganzen, sondern bis zu den kleinsten Theilen constant ist, so ist auch die jedes Atoms unveränderlich, und kann nur für verschiedene Atome verschieden seyn. Die Intensität der Kräfte hingegen kann, auch wenn wir nur anziehende und abstofsende annehmen, mannichfach variiren. Vom Einfachsten ausgehend, kann sie abhängen vom gleichzeitigen Orte des Objects; dann vom gleichzeitigen Bewegungszustande desselben; dann vom gleichzeitigen Orte und Bewegungszustande anderer Atome; dann von vorausgehenden Vorgängen und Zuständen u. s. w. Jede neue Stufe in dieser Reihe macht nicht blofs die Aufgabe schwieriger, sondern stellt auch nach ihrer Lösung eine unvollkommenere Gestaltung der Theorie in Aussicht. Indem wir uns auf den erstgenannten Fall beschränken, bestreiten wir nicht die Möglichkeit der übrigen, sondern lassen sie als wenig versprechend bei Seite.

Ist aber die Kraft nur vom momentanen Orte des Objects abhängig, so folgen nothwendig einige neue Beschränkungen. Erstens mufs der Grundsatz, dafs Wirkung und Gegenwirkung gleich sind, festgehalten werden. Die Anziehung oder Abstofsung zweier Atome ist demnach immer gegenseitig und für beide gleich. Zweitens darf man nicht die Kraft mit ihrer Richtung variiren lassen, weil die Stellung der Axen, auf welche diese Richtung Bezug hätte, aufser aller causalen Verbindung stehen würde. Demzu-

folge ist die Kraft nur Function des Abstands der auf einander wirkenden Atome. Die Verschiedenheit der Atome beruht jetzt allein auf der Quantität ihrer Masse und auf der Function, welche die Abhängigkeit ihrer Anziehung oder Abstofsung gegen andere Atome von deren Entfernung darstellt. Solcher Functionen kann ein Atom verschiedene haben, je nach der Verschiedenheit der Objecte. Zur Bestimmung der genannten Merkmale scheint mir ein Weg offen zu seyn, der, wie ich glaube, noch wenig versucht worden ist.

Der feste Aggregatzustand scheint seine besondere Gestaltung fast ausschliefslich nach Maafsgabe der den Atomen innewohnenden Kräfte zu empfangen, während im tropfbaren und luftförmigen die Bewegung der Atome in höherem Grade mitwirkt. Die eigentliche und allen andern zu Grunde liegende Form fester Körper ist, wie man wohl annehmen kann, die krystallinische. In ihr finden wir vergröfsert die Gestalten wieder, in denen die Atome zur Bildung der kleinsten Theile zusammentreten. Dieſs hat man jedoch nicht so zu verstehen, als wenn z. B. in einem octaëdrischen Krystalle die Atome als Eckpunkte von Octaëdern gruppirt wären; denn der Raum läfst sich nicht in Octaëder zerlegen. Das Charakteristische des krystallinischen Zustandes besteht in der Spaltbarkeit nach Ebenen von bestimmter gegenseitiger Neigung. Aus dieser läfst sich zunächst schliefsen, dafs die Atome in Ebenen parallel den Krystallflächen gelagert sind, so dafs die Trennungsfläche immer zwischen zwei nächsten Lagern hindurchgeht. Legt man nun durch einen Punkt Ebenen parallel mit sämmtlichen Seiten eines Krystalls, und mit jeder derselben wiederum parallele Ebenen in gleichen Abständen von einander: so wird, wenn sowohl die Neigungswinkel, als auch die Abstände gewisse Bedingungen erfüllen, der Raum in eine Menge Polyëder zerlegt, unter denen nur eine bestimmte Anzahl verschiedener Gestalten vorkommen. In jedem der congruenten Polyëder, welche alsdann so geordnet sind, dafs ihre entsprechenden Punkte in Ebenen liegen, wird

eine gleiche Zahl gleicher Atome enthalten seyn, wenn die Ebenen Schnittflächen eines Krystalls darstellen sollen. Die Bedingungen, unter welchen eine solche Anordnung nur möglich ist, bestimmen zunächst, aufser den möglichen Krystallformen, die Abstände entsprechender Atome relativ zu einander. Sind diese bekannt, so hat man die Kräfte als Function der Abstände dem festen Gleichgewicht gemäfs zu bestimmen. So wird das an sich schwierige Problem in zwei einfachere zerlegt, deren erstes unabhängig vom zweiten gelöst werden kann, worauf das zweite nicht mehr Ort, Masse und Kraft jedes Atoms, sondern nur die zwei letztern als Unbekannte zu betrachten hat.

V. *Ueber das bei der Elektrolyse des Antimonchlorids an der Kathode sich ausscheidende, mit auffallenden Eigenschaften begabte Metall;* von *Rud. Böttger.*

Durch Hrn. G. Gore in Birmingham sind wir vor einiger Zeit [1]) auf ein ganz eigenthümliches Phänomen bei der elektrochemischen Ablagerung des Antimons aus dem gewöhnlichen officinellen Chlorantimon aufmerksam gemacht worden, das, schon wegen mehrerer scheinbarer Anomalien, unter welchen es aufzutreten pflegt, wohl geeignet seyn dürfte, mehr und mehr gekannt und in ein helleres Licht gestellt zu werden. Bereits habe ich auf der letzten Versammlung der Naturforscher und Aerzte in Bonn in einer der Sectionssitzungen für Physik und Chemie mehrere diesen Gegenstand betreffende neue Beobachtungen zur Sprache gebracht, und bei dieser Gelegenheit auch versucht, das Phänomen selbst einer genaueren Analyse zu unterwerfen;

1) Man vergleiche Bd. 95, S. 173 dieser Annalen.

indefs, wenn ich auch nicht im Stande war und es zur Zeit auch noch immer nicht bin, über alle dabei beobachteten Thatsachen genügend Rechenschaft zu geben, so dürften doch vielleicht die nachfolgenden Zeilen geeignet seyn, den Gegenstand mehr und mehr zu beleuchten, sowie den einen oder andern meiner Collegen veranlassen, ihn gemeinschaftlich weiter experimentell zu verfolgen.

Das Phänomen, um welches es sich hier handelt, besteht kürzlich in Folgendem: Gore beobachtete, dafs wenn man unter Mitanwendung einer schwach wirkenden, kleinen Smee'schen Batterie von ein oder zwei Plattenpaaren, den officinellen *Liquor stibii chlorati* zerlegt, so zwar, dafs die positive Elektrode mit einem Stück *Antimon* und die negative Elektrode mit einem entsprechend grofsen Stück Kupferblechs verbunden wird und beide Metallstücke in der zu zerlegenden Flüssigkeit etwa 2 bis 3 Zoll einander gegenüberstehen, sich nach kürzerer oder längerer Zeit auf das Kupferblech metallisches, spiegelglänzendes Antimon ablagert, welches nach einer gewissen erlangten Dicke, aus der der Elektrolyse unterworfenen Flüssigkeit herausgezogen, beim Ritzen oder Reiben mit einer harten Substanz, desgleichen beim sanften Schlagen, *unter Erhitzung und Explosion und unter gleichzeitiger Ausstofsung eines weifsen Dampfes* in viele kleinere Stücke zerspringt.

Was die Erklärnng dieses sonderbaren Phänomens betrifft, so könnte man auf dem ersten Anblick versucht werden, zu glauben, es existire das Antimon in zwei verschiedenen allotropischen Zuständen, und gehe das elektrolytisch gewonnene Metall beim Ritzen oder beim schwachen Erwärmen aus dem einen in den anderen Zustand über; dafs dem aber nicht so sey, dafs wir es nämlich hier nicht mit einem Antimon und einem besonderen allotropischen Zustande zu thun haben, davon werden wir uns, wie ich hoffe, bald überzeugen, nachdem ich zuvor erst in der Kürze das von mir befolgte Verfahren der Gewinnung des die erwähnte auffallende Erscheinung zeigenden Antimons werde näher beschrieben haben.

Ein beim Ritzen augenblicklich unter starker Erhitzung zerplatzendes oder in Stücke zerstäubendes Antimon gewinnt man sehr leicht, wenn man sich zur Zerlegung des officinellen Chlorantimons von 1,350 spec. Gew. einer *schwach* und *möglichst constant wirkenden Batterie irgend einer Art*, aus etwa zwei oder drei Plattenpaaren bestehend, bedient. Zu meinem Versuche dienten meist *drei* 6 Zoll hohe und 4 Zoll weite, mit 5 Procent Schwefelsäure haltigem Wasser gefüllte *Kupferbecher*, in welche entsprechend grofse, mit Kochsalzlösung gefüllte Thonzellen, zur Aufnahme von nicht amalgamirten Zinkblöcken, gestellt wurden. Das Gefäfs, in dem die Zersetzung des Chorantimons vor sich ging, bestand aus einem weiten Becherglase mit parallelen, senkrechten Wänden. Um gleich eine gröfsere Anzahl von Exemplaren explodirender Metallstücke zu erzielen, verband ich stets 6 bis 8 unter einander verknüpfte, 3 bis 4 Zoll lange, senkrecht und in gleichen Abständen von ungefähr vier Linien aufgestellte dünne Kupferdrähte mit der negativen Elektrode. Als positive Elektrode fungirte ein entsprechend grofses, ziemlich dickes, an einen starken Kupferdraht angegossenes Stück käuflichen Antimons, welches in einem Abstande von 3 Zollen, innerhalb der Chlorantimonlösung, von jenen Kupferdrähten angebracht war. Alle 24 Stunden wurden die stromerregenden Flüssigkeiten erneuert, die Zinkblöcke abgewaschen, und so meistentheils schon innerhalb 2, höchstens 3 Tagen sämmtliche Kupferdrähte mit (einige Linien) dicken, silberglänzenden Antimon überwachsen erhalten. Auf diese Weise bin ich in kurzer Zeit in den Besitz einer grofsen Anzahl von zu den mannichfaltigsten Versuchen benutzten Antimonstücken gekommen. Da die officinelle Chlorantimonlösung, in Folge vorwaltender Salzsäure, sehr stark sauer reagirt und überdiefs ohne Ausnahme eine *gelbliche* Farbe zeigt (die jedoch, sonderbarer Weise, *während der Elektrolyse*, nach Verlauf von ungefähr 24 Stunden, *völlig verschwindet*, nach längerem Hinstellen der Flüssigkeit in einem *offenen* oder *verschlossenen* Gefäfse aber, und zwar dem elektrischen Strome entzogen, sich stets wieder erneuert), so

vermuthete ich anfangs, dafs diese gelbliche Farbe möglicher Weise von einem geringen *Eisengehalte* des Chlorantimons herrühre, und dafs vielleicht gerade dieser Eisengehalt des Chlorantimons, bei der Elektrolyse des letzteren, die Veranlassung zur Erzeugung einer Art von Réaumur'scher *Eisen-Antimonlegirung* [1]) gebe, an welcher bekannt ist, dafs sie bei mäfsig starker Friction an einer scharfkantigen stählernen Feile, unter Ausstofsung einer Menge weifser Dämpfe (herrührend von verbrennendem Antimon) *Funken sprüht.* Es war sehr wohl denkbar, dafs, im Fall jene Prämisse gegründet, sich auf elektrolytischem Wege vielleicht eine in *bestimmten Mischungsverhältnissen* auftretende, und eben deshalb mit den genannten Eigenschaften in einem besonders hohen Grade begabte Legirung erzeugen werde. Diese Vermuthung fand ich indefs *nicht bestätigt*, denn obwohl ich bei der elektrochemischen Zerlegung einer völlig eisenfreien, chemisch reinen Auflösung von *Brechweinstein kein* mit explodirenden Eigenschaften begabtes Metall zu erzielen vermochte, so sah ich doch auf der anderen Seite stets mit grofser Leichtigkeit ein solches hervorgehen, wenn ich mich einer chemisch reinen, *völlig eisenfreien*, aus sogenanntem Algarothpulver eigens bereiteten *Chlorantimonlösung* bediente.

Sollte es vielleicht gar eine feste *Antimonwasserstoff*-Verbindung geben, welche bei mäfsig starker Friction oder durch Druck oder durch Schlag jene auffallende Erscheinung des explosionartigen Zerspringens zeigt? Die *Möglichkeit* der Entstehuug einer solchen Verbindung bei der elektrolytischen Zerlegung einer salzsäurehaltigen Chlorantimonlösung war nicht zu bezweifeln; indefs haben fortgesetzte, diesen Punkt mehr und mehr aufhellende Versuche gezeigt, dafs auch die Annahme einer Antimonwasserstoff-Verbindung

1) Man erhält die Réaumur'sche Eisen-Antimonlegirung leicht, wenn man zu 2 Theilen geschmolzenem, mit Kohlengestiebe wohlüberdecktem Gufseisen 1 Theil metallisches geschmolzenes Antimon fügt, das Gemisch umrührt und schnell erkalten läfst; dasselbe wird von einem Stahlmagnete *nicht* afficirt.

hier unzulässig ist. Ritzt man nämlich ein auf elektrolytischem Wege erzeugtes Antimonstängelchen in der pneumatischen Wanne, d. h. *unter Wasser von mittlerer Temperatur* (+ 10 bis 12° R.) mit einem zugespitzten Eisenstabe, so läfst sich dasselbe zwar, zufolge seiner Sprödigkeit, mit Leichtigkeit zerbröckeln; indefs bemerkt man hierbei *weder eine Temperaturerhöhung, noch eine Entwicklung von Wasserstoffgas oder überhaupt irgend eine besonders auffallende Erscheinung.* Ritzt man dagegen ein solches Antimonstängelchen unter destillirtem Wasser, welches zuvor bis auf *etwa* 60° *R. erhitzt* worden war, so sieht man das Stängelchen *unter starkem Zischen in eine Menge kleiner Stücke zerfallen, das Wasser wird dabei von einem sich ausscheidenden weifsen flockigen Körper getrübt und reagirt augenblicklich auffallend sauer.* Diese letztere Erscheinung führt uns in der Beurtheiluug der chemischen Constitution jenes räthselhaften Körpers einen Schritt weiter, obwohl seine wahre Natur dadurch noch immer unerklärt bleibt.

Bringt man auf vorerwähnte Weise in Wasser von + 60° R. *mehrere* Antimonstängelchen durch Ritzen zum Zerfallen, so lassen sich darin *freie Salzsäure* und sogenanntes *Algarothpulver* (Antimonoxychlorid) mit Leichtigkeit erkennen. Da nun das Zerspringen und explosive Umherstieben jener Antimonstängelchen in bald gröfsere bald kleinere Stücke nicht blofs durch Ritzen oder Schlagen, sondern auch durch Temperaturerhöhung (nach meiner Beobachtung bei + 160° R.) erfolgt, so suchte ich die bei jenem Vorgange auftretenden flüchtigen Dämpfe in einer an dem einen Ende verschlossenen langen, engen Glasröhre zu condensiren, um sie einer genaueren Prüfung unterwerfen zu können. Eine grofse Anzahl in dieser Richtung angestellter und sehr sorgfältig durchgeführter Versuche ergaben sämmtlich, in qualitativer Hinsicht durchaus gleiche, in quantitativer Hinsicht aber völlig verschiedene Resultate. Es entwickelt sich nämlich beim Erhitzen solcher Antimonstängelchen, in der atmosphärischen Luft keinen Zutritt gestattenden gläsernen Destillationsgefäfsen, ohne Ausnahme, *wasserfreies Anti-*

monchlorid (sogenannte Spiefsglanzbutter) welches sich als eine starre, farblose, durchscheinende, krystallinische, weiche Masse an die kalten Innenwände des Destillationsgefäfses ansetzt. Die Menge dieses Chlorids in der explodirenden Metallmasse ist, wie gesagt, sehr verschieden, sie variirt, meinen Beobachtungen zufolge, zwischen 3,03 bis 5,83 Proc.

Es liegt die Vermuthung nahe, es möchte das Vorhandenseyn von wasserfreiem Antimonchlorid in jener Metallmasse vielleicht nur ein ganz *zufälliges* seyn, indem, aller Theorie schnurstracks entgegen, unmöglich angenommen werden könnte, dafs bei der Elektrolyse eines (sey es in Wasser oder in Salzsäure gelösten) *Chlorides* an der *Kathode* jemals eine Ausscheidung von *Chlor* stattfinde; aber wenn Beispiele der Art zur Zeit auch noch nicht bekannt sind, so kann doch hier in unserem Falle auf das Bestimmteste nachgewiesen werden, dafs die in jener explodirenden Metallmasse enthaltene Chlorverbindung keineswegs als ein blofs *zufälliger, rein mechanischer Gemengtheil* figurire. Denn wäre diefs der Fall, so müfste sich das bekanntlich in Wasser so überaus leicht lösliche, ja an der Luft von selbst zerfliefsende Antimonchlorid auch auf *rein mechanischem Wege durch blofses Ausspülen mit Wasser* aus jener explodirenden Metallmasse *entfernen* lassen können. Dem ist aber nicht so!

Ich habe im Vorhergehenden gezeigt, dafs das mit explodirenden Eigenschaften begabte Antimon in Wasser von *mittlerer Temperatur*, beim Ritzen keine besonders auffallende Erscheinung erkennen läfst. In der That kann man sorgfältig abgewaschene, ja selbst mit *siedendem* Wasser zuvor einige Zeit lang behandelte Antimonstängelchen der Art, in einem Porzellanmörser, mit *kaltem destillirten Wasser* überschüttet, mittelst eines Pistills anhaltend *zerstofsen*, ohne *dafs man das Wasser im mindesten hierbei sich trüben oder eine saure Reaction annehmen sieht*, was doch unstreitig erfolgen müfste, wenn jene Annahme von einer blofsen *mechanischen Einsprengung* des Antimonchlorids gegründet wäre. Wenn ich nun auch zur Zeit noch nicht im Stande bin, ein klares Bild von jener scheinbar ganz anomalen

Verbindung von Antimonchlorid mit metallischem Antimon zu entwerfen, so glaube ich doch durch den zuletzt angeführten Versuch bewiesen zu haben, dafs von einer blofs *mechanischen Einmengung* von Antimonchlorid hier nicht wohl die Rede seyn könne. Mir scheint das Auftreten von Chlor an der *Kathode*, bei der Elektrolyse eines Chlorides, mit dem Auftreten von *Silber* oder von *Silbersuperoxyd* an der *Anode*, bei der elektrochemischen Zerlegung des Silbernitrat in einer gewissen Relation oder Parallele zu stehen. Sey dem nun aber wie ihm wolle, so glaube ich durch vorstehende Thatsachen doch wenigstens *einige* dunkle Punkte in ein helleres Licht gestellt und vielleicht Veranlassung gegeben zu haben, dafs das in Rede stehende höchst interessante Factum recht bald auch noch von *Anderen* experimentell werde weiter verfolgt werden.

Was die Erhitzung betrifft, welche sich beim Ritzen des elektrolytisch gewonnenen Antimons momentan zu erkennen giebt, so ist dieselbe sehr bedeutend, indem die von mir dabei beobachtete Temperatur des Metalls fast in allen Fällen sich bis auf + 200° R. erhebt. Umwickelt man ein solches Antimonstäbchen vor dem Verletzen mit guter *Schiefswolle* (die meinen Beobachtungen zufolge bei + 184° R. sich momentan zersetzt) oder mit einem Streifen *Stanniol*, und ritzt es alsdann an irgend einer Stelle, so erfolgt im ersteren Falle eine Entzündung, respective Verpuffung der Schiefswolle, im letzteren eine vollkommene Schmelzung des Zinns. Läfst man den Strom einer aus 3 Volta'schen Elementen bestehenden, stark geladenen Bunsen'schen Batterie durch einen 2 Linien dicken und 1 Zoll langen Antimonfaden gehen, so erfolgt gleichfalls ein augenblickliches Zerstieben des Metallfadens, unter Ausstofsung einer grofsen Menge, blaues Lakmuspapier aufs stärkste röthenden, Antimonchloriddampfs; ganz dasselbe geschieht, wenn man eine kleine, mäfsig stark geladene Leidner Flasche mit dem elektrolytisch gewonnenen Antimonstabe entladet oder ihn mit dem einen oder dem anderen Ende der Inductionspirale eines Ruhmkorff'schen Apparates in Verbindung setzt und dann das

andere Ende des Inductionsdrahtes dem Antimonstabe so nahe bringt, dafs ein Funkenstrom entsteht.

Zerbricht man einen elektrolytisch gewonnenen Antimonstab unter Wasser von mittlerer Temperatur in grobe Stücke, so sieht man, wie ich bereits oben angegeben, das Wasser sich weder erwärmen oder im mindesten trüben; trocknet man aber einzelne gröfsere Fragmente der zerbröckelten Metallmasse schnell recht sauber mit weichem Fliefspapiere ab und ritzt sie hierauf oder schlägt sie, in Papier gewickelt, leise mit einem Hammer, so erfolgt augenblicklich eine Zerstiebung der Fragmente und eine gleichzeitige Entwicklung von Antimonchloriddämpfen. Ich habe explodirende Antimonstäbchen *ein halbes Jahr* lang, locker in Baumwolle gepackt, in gewöhnlichen Pappschachteln aufbewahrt, ohne eine merkliche Abnahme ihrer Eigenschaften zu entdecken.

Dafs die mehrerwähnte *Chlorverbindung* in der explodirenden Metallmasse bei dem Phänomene des Verpuffens oder Zerstiebens eine *Hauptrolle* spiele, dafs überhaupt nur aus einer *stark gesäuerten Chlorantimonlösung* eine explodirende Metallmasse gewonnen werden könne, davon wird sich Jeder leicht überzeugen, der versucht, den räthselhaften Körper aus einem anderen, *keine Chlorverbindung* enthaltenden Antimonsalze darzustellen. Weder aus dem *Brechweinstein* (dem weinsauren Antimonoxyd-Kali), noch aus dem sogenannten Schlippe'schen *Salze* (dem Schwefelantimon-Schwefelnatrium) vermochte ich ihn zu gewinnen.

Versetzt man eine officinelle Chlorantimonlösung so lange mit einer Auflösung von kohlensaurem Natron, bis die freie Salzsäure darin fast, jedoch nicht ganz neutralisirt ist, und zerlegt diese Chlorantimon-Chlornatriumlösung mittelst der vorhin erwähnten ziemlich constant wirkenden kleinen Batterie, so gewinnt man nach Verlauf von etwa 4 Tagen eine so starke, silberglänzende, metallische Ablagerung, wie die ist, welche man schon innerhalb zweier Tage aus der gewöhnlichen officinellen stark sauren Chlorantimonlösung resultiren sieht. Die Metallablagerung erwies sich frei von Natrium, zeigte aber das Phänomen des Aus-

stofsens dicker, weifser, ätzend saurer Dämpfe beim blofsen schwachen Ritzen *nicht*; setzte man es aber einer *Erhitzung* oder auf einer Unterlage von Papier einem *starken* Stofse oder Schlage mit einem Hammer aus, so zeigte es das gleiche Phänomen wie das aus blofser Chlorantimonlösung gewonnene Produkt.

Schliefslich verdient auch noch von mir angeführt zu werden, dafs wenn man die Zerlegung der Chlorantimonlösung auf die Weise in Ausführung bringt, dafs man die mit der Kathode verbundenen Kupferdrahtstifte, statt sie dem mit der Anode communicirenden Antimonstücke direct in der Flüssigkeit gegenüber zu stellen, vielmehr in eine besondere mit derselben Chlorantimonlösung angefüllte mattgebrannte *Thonzelle* einsenkt, man vergeblich auf das Erscheinen einer explodirenden Metallmasse zu hoffen hat.

VI. *Ueber die Entbläuung der Indigolösung durch saure Sulfite; von C. F. Schönbein.*

Wie wohl bekannt, besitzt die schweflichte Säure das Vermögen, die meisten rothen und blauen Blumenpigmente zu entfärben, ohne dieselben jedoch zu zerstören, wie daraus erhellt, dafs deren Färbung wieder hervorgerufen werden kann durch alle die Mittel, welche die genannte Säure entweder aus den Pigmenten entfernen, wie Schwefelsäure, Phosphorsäure u. s. w.; oder zersetzen, wie der Schwefelwasserstoff; oder zu Schwefelsäure oxydiren, wie der ozonisirte oder besonnte Sauerstoff, das ozonisirte Terpentinöl, Chlor u. s. w.

Meine Versuche haben ferner gezeigt, dafs selbst die an alkalische Basen gebundene und vollkommen neutralisirte schweflichte Säure gegenüber den meisten blauen und

rothen Pflanzenpigmenten noch dieses Entfärbungsvermögen besitzt.

Was das in Schwefelsäure gelöste Indigoblau betrifft, so wird dasselbe zwar auch noch von der schweflichten Säure entfärbt, jedoch in einem sehr schwachen Grade und nicht plötzlich, und ungefähr eben so verhalten sich die Lösungen der neutralen Sulfite; weit kräftiger und rascher entfärbend wirken aber die sauren Sulfite auf die Indigolösung ein, wie aus nachstehenden Angaben erhalten wird.

Uebersättigt man gelöstes Kali, Natron oder Ammoniak mit wässeriger schweflichter Säure so, dafs Lackmuspapier dadurch nur noch mäfsig stark geröthet wird, oder löst man Bittererde, Zinkoxyd u. s. w. in der gleichen Säure auf, so werden Flüssigkeiten erhalten, welche die Indigotinctur augenblicklich zu entbläuen vermögen.

Tröpfelt man z. B. in gelöstes saures Ammoniaksulfit Indigotinctur, so verschwindet die blaue Färbung derselben sofort, und es wird ein Gemisch erhalten, welches braungelbes Licht durchläfst und kupferrothes zurück wirft, welches letztere Verhalten man durch Schütteln sehr augenfällig machen kann.

Die Lösungen aller der von mir geprüften sauren Sulfite verhalten sich auf die gleiche Weise; doch will ich nicht unbemerkt lassen, dafs das Entbläuungsvermögen des schweflichtsauren Kupferoxydes etwas stärker als dasjenige der übrigen Sulfite ist und dieses Salz überdiefs noch einige andere Eigenthümlichkeiten zeigt, deren weiter unten Erwähnung geschehen wird.

Die mittelst irgend eines sauren Sulfites aufgehobene blaue Färbung der Indigotinctur kann durch eine Reihe sehr verschiedenartiger Mittel wieder hervorgerufen werden.

1. *Durch stärkere Säuren.* Vermischt man mit der entbläuten Tinctur Vitriolöl, Phosphorsäure oder Essigsäure in gehöriger Menge, so färbt sich dieselbe sofort wieder blau.

2. *Durch Alkalien.* Kleine Mengen von Kali-, Na-

tron- oder Ammoniaklösung stellen die blaue Färbung der entbläueten Indigolösung augenblicklich wieder her.

3. *Durch Wasser.* Starke Verdünnung mit Wasser wirkt ähnlich den Säuren und Alkalien.

4. *Durch Weingeist und Holzgeist.* Diese Flüssigkeiten verhalten sich gegen die entbläuete Indigotinctur wie das Wasser, zeigen jedoch eine gröfsere Wirksamkeit als dieses, d. h. es ist weniger Weingeist oder Holzgeist als Wasser zur Wiederherstellung der Färbung der Indigolösung erforderlich.

5. *Durch Bittermandelöl.* Schüttelt man, auch unter Ausschlufs der Luft, diese Substanz mit entbläueter Indigotinctur zusammen, so färbt sich letztere wieder blau.

6. *Durch Chlor, Brom, Jod und Hypochlorite.* Die wäfsrigen Lösungen dieser Materien rufen die blaue Färbung der Indigolösung augenblicklich wieder hervor, wobei es sich von selbst versteht, dafs sie nicht im Ueberschufs angewendet werden dürfen, weil sonst das Indigoblau zerstört wird.

7. *Durch Schwefelwasserstoff.* Leitet man Schwefelwasserstoffgas durch die entfärbte Indigolösung, so bläut sie sich wieder unter Fällung von Schwefel.

8. *Durch Erwärmung.* Erhitzt man die entbläuete Indigotinctur, so verschwindet die braungelbe Färbung derselben und geht durch Mifsfarben in reines Blau über, sich um so tiefer färbend, je höher die Temperatur steigt, um bei erfolgender Abkühlung jedoch wieder braungelb zu werden. Wie oft man auch erwärmen oder abkühlen mag, so treten immer die erwähnten Farbenveränderungen ein.

9. *Durch Abkühlung.* Stellt man in einem Probegläschen die entbläuete Indigolösung in ein Gemenge von Salzsäure und Schnee, so erstarrt die Flüssigkeit rasch zu einem violetten Eis, welches bei weiter gehender Abkühlung blau wird. Kaum ist nöthig zu bemerken, dafs die Schmelzung dieses Eises wieder eine braungelbe Flüssigkeit liefert, welche sich bei Erhöhung der Temperatur abermals blau färbt.

Bemerkenswerth ist, dafs die durch gelöstes Kupferoxydsulfit entbläuete Indigolösung weder bei der Erwärmung noch Abkühlung wieder blau wird. Erhitzt man dieselbe, so wird sie im Gegentheil noch heller braungelb, als sie es bei gewöhnlicher Temperatur war; erhält man sie aber einige Minuten lang im Sieden, so färbt sie sich smaragdgrün, um bei der Abkühlung wieder braungelb zu werden. Beifügen will ich noch, dafs die durch schweflichtsaures Kupferoxyd entbläuete Indigotinctur die Zurückwerfung des kupferrothen Lichtes am stärksten zeigt.

Aus den vorstehenden Angaben erhellt, dafs die durch die sauren Sulfite bewerkstelligte Entbläuung der Indigotinctur weder auf einer Zerstörung nach einer Desoxydation des Farbstoffes beruht; auf ersterer nicht, weil die ursprüngliche Färbung desselben wieder hervorgerufen werden kann und auf einer Desoxydation nicht, weil besagte Färbung durch oxydirende Mittel (durch Hypochlorit und Schwefelwasserstoff) sich wiederherstellen läfst, ja diefs sogar geschehen kann, ohne irgend ein chemisches Agens, nämlich durch blofse Erwärmung oder starke Abkühlung.

Was nun die nächste Ursache der Wiederherstellung der Färbung der Indigolösung durch stärkere Säuren betrifft, so ist sie wohl in der Zersetzung der Sulfite zu suchen, welche jene bewerkstelligen. Alkalien mögen dadurch wirken, dafs sie die Sulfite neutralisiren, in welchem Zustande voranstehenden Angaben gemäfs diese Salze ein schwächeres Entbläuungsvermögen besitzen, als dasjenige ist, welches den sauren Sulfiten zukommt. Worauf die Wiederherstellung der Färbung der Indigolösung durch Vermischung mit Wasser, Weingeist, Holzgeist, Bittermandelöl, gehörige Erwärmung oder Abkühlung beruht, weifs ich nicht anzugeben. Schwefelwasserstoff wirkt zersetzend auf die Sulfite ein und bewirkt zunächst dadurch die Wiederbläuung der Indigotinctur.

Dafs die Sulfite ihr Entfärbungsvermögen nur innerhalb gewisser Temperaturgränzen zeigen, ist ein Verhalten, welches auch der schweflichten Säure zukommt. Eine durch

gasförmiges SO_2 völlig gebleichte blaue oder rothe Blume, z. B. eine Rose, färbt sich nach meinen Erfahrungen augenblicklich roth, wenn man sie auf 100° (mittelst Wasserdampfs) erhitzt, um bei der Abkühlung sofort wieder weifs zu werden, so dafs man eine solche Blume in einer Minute dreifsig Male gebleicht und wieder gefärbt sehen kann. Eben so ist von mir gezeigt worden, dafs z. B. der durch wässerige schweflichte Säure entfärbte Pigmentauszug einer rothbraunen Dahlie schon bei 20 bis 30° unter Null ein lebhaft roth gefärbtes Eis liefert, wie sich dieser Auszug auch bei der Erwärmung wieder färbt. Vor einigen Jahren ermittelte ich die Thatsache, dafs beim Durchgang eines Stromes durch wässerige schweflichte Säure an der negativen Elektrode eine braungelbe Flüssigkeit entsteht, welche sowohl für sich allein als an Salzbasen gebunden eine ganz aufserordentlich stark entbläuende Wirkung auf die Indigolösung hervorbringt, eine ohne allen Vergleich stärkere, als diejenige, welche die schweflichte Säure oder selbst die sauren Sulfitlösungen verursachen.

In völlig gleicher Weise verhält sich die braungelbe Flüssigkeit, welche sofort beim Zusammenbringen von Zink- oder Eisenfeilen mit wäfsriger schweflichter Säure entsteht. (Siehe hierüber Erdmann's Journal Vol. LXI, S. 203).

Wie grofs der Unterschied zwischen dem Entbläuungsvermögen des sauren schweflichtsauren Zinkoxydes und demjenigen der durch die Berührung der schweflichten Säure mit metallischem Zink entstandenen Flüssigkeit ist, erhellt aus folgender Angabe. Zehn Gramme wäfsriger schweflichter Säure, die mit Zinkoxyd geschüttelt worden, vermochten höchstens zwei Gramme einer normalen Indigotinctur zu entbläuen, während zehn Gramme der gleichen Säure auf Zinktheile gegossen 1000 Gramme der erwähnten Indigolösung entfärbten, und noch war das Entbläuungsvermögen nicht erschöpft. Wie aus den in der erwähnten Abhandlung gemachten Angaben, hervorgeht, beruht auch diese Entbläuung der Indigotinctur weder auf einer Zerstörung noch auf der Oxydation des Farbstoffes, indem durch

eine Reihe von Mitteln, namentlich auch durch oxydirende und desoxydirende, die blaue Färbung der Indigotinctur sich wieder hervorrufen läfst.

Worin der Grund der zuletzt erwähnten Entbläuung der Indigolösung liegt, kann ich eben so wenig angeben als sagen, weshalb die schweflichte Säure oder die Sulfite die Färbung so vieler rothen und blauen Blumenpigmente aufheben; bemerkenswerth ist aber jedenfalls, dafs die sonst so verschiedenartigen Verbindungen, welche solche Bleichwirkungen hervorbringen, alle Schwefel enthalten: die schweflichte Säure, die Sulfite, der Wasserstoffschwefel (HS_5) und die braungelbe vorhin erwähnte Flüssigkeit.

VII. *Einige Bemerkungen über das elektromotorische Gesetz; von W. Beetz.*

In einer Abhandlung, welche im 103. Bande dies. Annalen erschienen ist, wendet sich Hr. Wild S. 360 gegen einige Schlüsse, welche ich an verschiedenen Orten aus meinen Untersuchungen gezogen habe, oder gezogen haben soll. Um nicht den Schein der Zustimmung auf mich zu laden, erlaube ich mir, hierauf in wenigen Worten zu erwiedern.

»Beetz drückt sich,« sagt Hr. Wild, »etwas ungenau hinsichtlich des Spannungsgesetzes aus, indem er sagt, dafs eine Reihe von Combinationen von zwei Metallen und zwei Flüssigkeiten, deren elektromotorische Kräfte er bestimmt hat, auch dem Spannungsgesetze gehorchen, wonach es scheinen könnte, als wäre hiermit eine Erweiterung des Spannungsgesetzes nachgewiesen, was nicht der Fall ist:

Die in Rede stehenden Messungen sind die, welche ich in diesen Annalen Band 90, S. 47 mittheilte, und den Messungen der galvanischen Polarisation zu Grunde legte. Wenn ich denselben nun die Bemerkung beifügte. »*Im Uebrigen*

sind die Versuche mit einander in hinreichender Uebereinstimmung, um das Gesetz der elektromotorischen Spannungsreihe auch für Combinationen aus Metall und Flüssigkeit zu bestätigen«, so habe ich nicht gefürchtet, in den Verdacht zu kommen, als hätte ich *mir* die Ehre anmafsen wollen, *hiermit* eine solche Erweiterung des Spannungsgesetzes ausgesprochen zu haben. Ich brauchte vielmehr die Messungen selbst, und glaube durch das »im Uebrigen« jene Bemerkung als eine völlig beiläufige hinreichend charakterisirt zu haben, welche vielmehr dazu bestimmt war, durch die beigefügten Beispiele zu zeigen, welcher Grad von Genauigkeit in meinen Versuchen zu erwarten ist. Dagegen ist, jene von Hrn. Wild bezweifelte Erweiterung schon früher von Wheatstone [1]) und besonders von Poggendorff [2]) gegeben worden und ich glaube nicht, dafs irgend Jemand diese Erweiterung verkennen wird, der die historische Entwickelung *der* Theorie des Galvanismus verfolgt, welcher die Elektrodynamik ihren jetzigen Standpunkt verdankt. Wenn auch die Gegner der Contacttheorie das Spannungsgesetz, wie es Volta für die Berührung metallischer Leiter hingestellt hatte, anerkannten, (und auch das geschah durchaus nicht allgemein), so bestritten sie dessen Gültigkeit für elektromotorische Kräfte von Hydroketten, weil sie die Identität beider Elektricitätsquellen durchaus leugneten. Als Ohm sein Gesetz für die Elektricitätsentwickelung in der Kette aufstellte, war in der That noch kein experimenteller Beweis geführt, dafs sich das Spannungsgesetz auch auf Hydroketten ausdehnen lasse, und Fechner zieht sogar aus seinen Messungen, die jenen Beweis führen sollten, den Schlufs [3]): die elektromotorische Kraft von Zinkkupfer ist gleich der Summe der elektromotorischen Kräfte für Zinkzinn und Zinnkupfer, wenigstens in saurem Wasser; Brunnenwasser und wahrscheinlich noch andere Flüssigkeiten bieten auch hier Anomalien dar. Dieser, in dem störenden Einflufs secundärer Wirkungen

1) *Phil. Trans.* 1843, *p.* 317*; Pogg. Ann. LXII, 525.*
2) Diese Annalen LIV, 190 und LXX, 60.*
3) Maafsbestimmungen über die galvanische Kette S. 232.*

begründete, Schlufs mufste zu Versuchen auffordern, welche das Spannungsgesetz auch auf »Combinationen von Metallen und Flüssigkeiten« ausdehnten, und diefs sind die erwähnten von Wheatstone und Poggendorff, denen ich meine, wenn sie noch nöthig gewesen wären, hätte hinzufügen können. Dafs Kohlrausch die Identität von Spannung und elektromotorischer Kraft dann auf noch directere Weise nachwies, kann den Werth jener Versuche für die Erweiterung des Spannungsgesetzes nicht herabsetzen. Hätte man aus dem Gesetz für die Spannungen trockner Metalle auf das für die elektromotorischen Kräfte von Hydroketten *schliefsen* wollen (ohne die letzteren direct zu messen) wie es Hr. Wild gethan, so hätte Faraday leicht wiederholen dürfen, was er im Jahre 1840 von dem Spannungsgesetz sagte [1]): »*This is a very large assumption, and that the theory may agree with the facts is necessary; still it is, I believe, only an assumption, for I am not aware of any data independant of the theory in question, which prove its truth.*« Und solche Bemerkungen würde unserer Theorie um so mehr gemacht werden, wenn man wie Hr. Wild »keine andere Annahme braucht als die, *dafs die Flüssigkeiten* $\dot{\dot{C}}u\dot{\dot{S}}$, $\dot{\dot{S}}+aq$, und $\dot{\dot{N}}$ untereinander *auch dem Spannungsgesetze gehorchen,*« dann aber fortfährt »*diese Annahme wird zwar*, wie wir zeigen werden, *durch die Erfahrung widerlegt*; allein die elektromotorischen Kräfte zwischen den Elektrolyten sind so klein gegenüber denjenigen zwischen den Metallen und Elektrolyten, dafs diefs auf die Messungen von Beetz wenig influiren kann. Gerade durch ein solches Schliefsen aus ziemlich, aber nicht ganz richtigen Annahmen, brachten manche Anhänger der Contacttheorie dieselbe in geringes Ansehen bei ihren Gegnern, weil diese sich selten klar machten, wie sehr oder wie wenig die Abweichung von der vollen Wahrheit dem Endresultat schaden könne. Uebrigens hätte Hr. Wild für dasjenige, was ich eine Erweiterung der Spannungsreihe nannte, nicht einmal

1) *Exper. Res.* 1809.*

eine Annahme gebraucht, denn ich habe nur von »Combinationen aus Metall und Flüssigkeit« gesprochen, während er schreibt »von zwei Metallen und zwei Flüssigkeiten.« Ich sehe die Erweiterung überhaupt schon in der Einführung der Hydrokette statt der trocknen Metalle.

Anders ist es mit dem Einwurf, den Hr. Wild gegen die Schlüsse macht, die ich aus meinen Versuchen über die elektromotorische Kraft der Gase gezogen habe [1]). Er sagt: »Wenn also Beetz aus diesen Beobachtungen und einer Zahl anderer den Schluſs zieht, daſs die Gase dem Gesetz der Volta'schen Spannungsreihe gehorchen, so daſs man z. B. habe

$$H \mid CO_2 + CO_2 \mid O = H - 0$$

so ist das ein Irrthum.« Allerdings liegt hier ein groſser Irrthum vor, er ist aber nicht von mir, sondern von Hrn. Wild begangen. Meine Worte sind: Aus diesen Versuchsreihen geht deutlich hervor, daſs die elektromotorischen Kräfte *von Gasen, welche durch platinirtes Platin und verdünnte Schwefelsäure zu Gasbatterien verbunden sind,* dem Gesetze der Volta'schen Spannungsreihe folgen, wie die Metalle.« Auf den Gedanken, mir den obigen irrthümlichen Schluſs unterzuschieben, kommt Hr. Wild durch eine ganz unzulässige Anschauung der Gasbatterie; diese zeigt sich schon in der Art, wie er die von mir untersuchten Combinationen schreibt:

$$Pt \mid H + H \mid \ddot{S} + \ddot{S} \mid \ddot{C} + \ddot{C} \mid Pt = 21{,}88$$

u. s. w. Diese Schreibart verlangt, daſs man sich eine Kette vorstelle, deren leitende Bestandtheile nach der Reihe Platin, Wasserstoff, Schwefelsäure, Kohlensäure, Platin, wären. Ich habe aber gerade in der besprochenen Abhandlung S. 511, indem ich mich der Anschauungsweise Buff's anschloſs, darauf hingewiesen, daſs ein solcher Fall nie gedacht werden kann, daſs vielmehr selbst in dem Falle, in welchem die Platten am innigsten mit Gas bekleidet sind, nämlich im Falle der elektrolytischen Polarisation, die Metalle, an

1) Diese Annalen LXXVII, 493.

denen die Gasablagerung geschieht, nicht gleichgültig sind. Wenn Hr. Wild sich den von ihm gedachten Fall experimentell verschaffen will, so braucht er nur eine Wasserzersetzung durch einen mäfsig starken Strom an einer nach oben gerichteten Wollaston'schen Platinspitze vorzunehmen. Auf derselben wird sich eine Gasblase bilden, und sobald dem Schema, wie es vorhergedacht wurde, genügt ist, wird der Strom unterbrochen seyn. Nimmt man dagegen Rücksicht auf das, was ich, und vor mir Andere, über den Sitz der elektromotorischen Kraft in der Gasbatterie gesagt habe, so wird man gewifs davon abstehen müssen, dieselben in das von Hrn. Wild gebrauchte Schema zu bringen. Will man, was ich auch schon angedeutet habe [1]), annehmen, das Gas als solches wirke garnicht elektromotorisch, sondern nur die an der Elektrodenfläche mit Gas gesättigte Flüssigkeitsschicht, so läfst sich die von mir beobachtete Gesetzmäfsigkeit in den elektromotorischen Kräften der Gasketten nur dann als unmittelbare Folge des einfachen Spannungsgesetzes nachweisen, wenn gezeigt worden ist, dafs die Flüssigkeiten, welche die Gase absorbirt enthalten, untereinander dem Spannungsgesetze folgen. Dann reduciren sich die Gasketten auf gewöhnliche Hydroketten, und dann gilt von ihrer elektromotorischen Kraft, was ich oben von der der Hydroketten gesagt habe.

Bern im Mai 1858.

1) a. a. O. S. 505.*

VIII. *Ueber das Niob; von Heinr. Rose.*

Die Verbindungen des Niobs scheinen in der Natur verbreiteter zu seyn, als die des Tantals. Ich werde später die Mineralien anführen, in denen wahrscheinlich Niob enthalten ist; ich selbst habe indessen nur den Columbit von Bodenmais und den von Nordamerika, so wie den Samarskit vom Ural untersucht, und die daraus abgeschiedenen metallischen Säuren als Oxyde des Niobs erkannt. Hr. Weber hat ferner das Niob im Fergusonit nachgewiesen, und später ist es in andern Mineralien aufgefunden worden.

Während ich beim Tantal nur eine Oxydationsstufe, welche als Säure auftritt, mit Bestimmtheit darstellen konnte, obgleich die Existenz von Oxyden mit weniger Sauerstoff als in der Tantalsäure wohl nicht bezweifelt werden kann, so fand ich beim Niob zwei Oxydationsstufen, die Säuren sind, welche zwar verschiedene Mengen von Sauerstoff enthalten, aber so viele und so auffallende Aehnlichkeiten zeigen, dafs ich nur sehr schwer und spät zu der Ueberzeugung gelangen konnte, dafs zwei Oxyde von so ähnlichen und in mancher Hinsicht fast gleichen Eigenschaften ihrer atomistischen Zusammensetzung nach zu zwei ganz verschiedenen Abtheilungen von Oxyden gehören. Da nun unmittelbar die eine Säure auf keine Weise in die andere verwandelt werden kann, so mufste ich früher die beiden Säuren als Oxyde verschiedener Metalle ansehen, und ich konnte nur dann erst diese Ansicht aufgeben, als ich mich davon überzeugte, dafs man die verschiedenen Chloride, aus deren Zersetzung vermittelst Wassers die verschiedenen Säuren entstehen, willkührlich erzeugen könne. Aber dieser Weg ist auch der einzige, um wenigstens mittelbar die niedrigere Oxydationsstufe in die höhere überzuführen; alle Oxydationsversuche, diefs auf andere Weise auszuführen, scheitern, auch wenn man sie auf das Mannigfaltigste verändert. Eben so mifsglücken auch fast alle

Reductionsversuche, das höhere Oxyd in das niedere zu verwandeln, und nur auf einem Wege gelingt diefs, aber nur sehr unvollkommen und theilweise.

Ich fand, dafs in sauerstofffreien Verbindungen namentlich in den Schwefelverbindungen durch Oxydation bald die eine, bald die andere Säure entstand, je nachdem das Schwefelmetall aus der einen oder der anderen Säure dargestellt worden war. Es ist diefs eine Thatsache, der jede Analogie in der Chemie fehlt. Denn die verschiedenen Schwefelverbindungen verhalten sich auf diese Weise in der That nicht wie die eines, sondern wie die zweier Metalle; und es lag in dem Metall der verschiedenen Schwefelverbindungen gleichsam schon die Disposition zur Bildung der einen oder der andern Säure.

Diese Wahrnehmungen fesselten während der langen Zeit der Untersuchung aufs höchste meine Aufmerksamkeit und veranlafsten die langwierigsten und zeitraubendsten Versuche. Der Gegenstand streifte nahe an ein Gebiet, das bisjetzt uns durch einen undurchdringlichen Schleier verborgen ist. Das Resultat der Untersuchungen lüftet zwar diesen auf keine Weise, könnte aber geeignet seyn, künftigen Untersuchungen eine Richtung zu geben, um sich mit der Beantwortung von Fragen über die interessantesten, aber zugleich auch über die dunkelsten Theile der chemischen Wissenschaft vielleicht mit einigem Erfolge zu beschäftigen.

Diefs ist auch die Ursach gewesen, dafs ich einem Gegenstande bei weitem mehr Mühe und Zeit opferte, als er es sonst wohl verdiente. Denn die Säuren und andere Verbindungen des Niobs zeigen nicht gerade Eigenschaften, durch welche sie vorzugsweise interessiren, und die Mineralien, in welchen sie vorkommen, sind so selten, dafs nicht jeder Chemiker sie sich leicht und in hinreichender Menge verschaffen kann.

Bei diesen Untersuchungen bin ich wie bei denen über das Tantal auf das Thätigste durch Hrn. Weber unterstützt worden, ohne dessen Hülfe dieselben nicht in dem Maafse, wie es geschehen, hätten vervielfältigt werden kön-

nen. In der letzten Zeit auch wurde mir eine ähnliche Unterstützung durch Hrn. Oesten zu Theil.

Ich werde in einer Reihe von Abhandlungen meine Untersuchungen über die Verbindungen des Niobs folgen lassen.

Metallisches Niob.

Das Niob kann auf verschiedene Weise in dem metallischen Zustand dargestellt werden.

Am besten stellt man das Niob aus den Verbindungen des Niobfluorids oder des Unterniobfluorids mit alkalischen Fluormetallen vermittelst Natriums auf eine ähnliche Weise dar, wie das metallische Tantal. Die möglichst gut getrocknete Fluorverbindung wurde mit dünnen Scheiben von Natrium geschichtet, und in einem kleinen gut bedeckten gufseisernen Tiegel ungefähr 10 Minuten hindurch dem starken Rothglühen vermittelst eines Gebläses ausgesetzt. Wenn man eine berechnete Menge von Natrium angewandt hat, so verflüchtigt sich nur wenig Natrium, dessen Dämpfe aufserhalb des Tiegels brannten. Ein starkes Erglühen des Tiegels während der Reduction konnte nicht deutlich wegen der Dicke der Wände desselben wahrgenommen werden. Der Tiegel wurde dann schnell erkaltet, und nach dem vollständigen Erkalten die schwarze Masse vorsichtig in kaltes Wasser in einer Platinschale gebracht. Das sich absondernde schwarze Pulver des metallischen Niobs wurde mit Wasser ausgekocht, und zuletzt mit etwas Alkohol enthaltendem Wasser ausgewaschen, bis das Waschwasser keinen Rückstand mehr zeigte. Mit reinem Wasser ausgewaschen, ging die Flüssigkeit trübe durchs Filtrum.

Man erhält das Metall weit reiner, wenn man auf das Gemenge der Fluorverbindung mit Natrium eine ziemlich starke Lage von Chlorkalium legt. Unter der Decke desselben kann das Metall und die Fluorverbindung, ehe sie zu Metall reducirt wird, sich nicht oxydiren, und man vermeidet dadurch eine Verunreinigung von unterniobsaurem Alkali. Leider wandte ich das Chlorkalium nur zuletzt an,

als die gröfsten Mengen des metallischen Niobs schon ohne dasselbe dargestellt worden waren.

Das metallische Niob unterscheidet sich in mancher Hinsicht von dem Tantal. Es hat zwar dieselbe dunkelschwarze Farbe, und leitet die Elektricität wie dieses, wird aber doch leichter von Reagentien angegriffen.

Kocht man das trockene metallische Niob mit Chlorwasserstoffsäure, so wird es etwas angegriffen, und aus der Säure kann durch Ammoniak eine kleine Menge Unterniobsäure gefällt werden. — Wird indessen das Niob unmittelbar nach dem es dargestellt worden und nach dem Auswaschen im feuchten Zustande mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure erhitzt, so findet Wasserstoffgasentwicklung statt und das Niob löst sich gänzlich in der Säure auf; die farblose Lösung gab aber mit Ammoniak einen starken voluminösen Niederschlag von schwach bräunlicher Farbe, der indessen aufs Filtrum gebracht beim Auswaschen sich oxydirte, und sich in eine Säure von rein weifser Farbe verwandelte. In der chlorwasserstoffsauren Lösung des Niobs ist also eine niedrigere Oxydationsstufe des Niobs von brauner Farbe aufgelöst, die aber im feuchten Zustand sich leicht höher oxydirt. — Die chlorwasserstoffsaure Lösung wurde in einem gut verschlossenen Glase aufbewahrt. Obgleich farblos behält sie noch lange Zeit hindurch die Eigenschaft durch Ammoniak braun gefällt zu werden. Nach zwei Jahren aber hatte sich eine bedeutende Menge eines weifsen Niederschlags in der Flasche gebildet, und die Flüssigkeit gab nun keine Fällung mehr mit Ammoniak; die ganze Menge des aufgelösten Niobs hatte sich als Unterniobsäure durch die Länge der Zeit abgesetzt.

In Salpetersäure ist das Niob nicht löslich, auch nicht beim Erhitzen. Auch Königswasser scheint weniger davon aufzulösen, als Chlorwasserstoffsäure.

Durch längeres Erhitzen löst concentrirte Schwefelsäure, wenn sie in einem hinreichenden Uebermaafse angewendet wird, das metallische Niob auf. Die Auflösung hat eine bräunliche Farbe. Vermischt man sie mit vielem Wasser, so

erhält man eine farblose Lösung; wenn man zu derselben indessen einen Ueberschufs von Ammoniak hinzugefügt, so erhält man einen weifslichen voluminösen Niederschlag, der aber einen starken Stich ins Bräunliche hat, so dafs also auch durchs Erhitzen mit concentrirter Schwefelsäure die niedrige Oxydationsstufe nebst vieler Unterniobsäure sich bildet.

Durchs Schmelzen des Niobs mit saurem schwefelsaurem Kali oxydirt sich dasselbe, und durch Behandlung der geschmolzenen Masse mit Wasser bleibt die Unterniobsäure ungelöst zurück.

Fluorwasserstoffsäure erwärmt sich schon bei gewöhnlicher Temperatur, wenn sie mit metallischem Niob in Berührung kommt; beim stärkeren Erwärmen findet eine Wasserstoffentwicklung statt und das Niob löst sich auf. Aber bei weitem leichter erfolgt die Auflösung auch schon bei gewöhnlicher Temperatur durch eine Mengung von Fluorwasserstoffsäure und von Schwefelsäure.

Auch durchs Kochen mit einer Lösung von Kalihydrat wird das metallische Niob nach und nach aufgelöst, indem sich unterniobsaures Kali bildet. Schneller aber geschieht die Umwandlung des Niobs in unterniobsaures Kali, wenn man das metallische Niob mit kohlensaurem Kali mengt und schmelzt.

Das metallische Niob ist das nämliche, wenn man es durch Natrium aus den Fluorverbindungen reducirt, welche der Niobsäure, und denen, welche der Unterniobsäure entsprechen, auf welche Thatsache ein gewisses Gewicht gelegt werden mufs. Ich werde deshalb, um diefs zu beweisen, die Untersuchungen über das Metall anführen, welches aus den beiden verschiedenen Fluorverbindungen erhalten worden war.

I. Eine Mengung von Kalium- und von Natriumniobfluorid wurde auf die oben angeführte Weise vermittelst Natriums unter einer dicken Decke von Chlorkalium reducirt. Das Metall war daher weniger verunreinigt. Das specifische Gewicht desselben wurde (von 1,5 Grm.) zu 6,297

bestimmt. Bei diesem Versuche war das Metall nicht vorher in einer Atmosphäre von Wasserstoffgas geglüht worden.

0,684 Grm. dieses Metalls wurden beim Zutritt der Luft geglüht. Sie oxydirten sich unter lebhaften Feuererscheinungen leichter und schneller als das metallische Tantal, obgleich sie reiner als dieses waren. Sie nahmen dadurch um 0,141 Grm. an Gewicht zu, und die erhaltene Säure war von gelber Farbe. 100 Th. des Metalls haben daher um 20,61 Th. zugenommen. Dieſs entspricht einem Sauerstoffgehalt in der erhaltenen Säure von 17,09 Proc., vorausgesetzt, daſs das zur Oxydation angewandte Metall vollkommen rein gewesen ist.

Ein anderer Theil von dem Metalle derselben Bereitung wurde in einer Kugelröhre der Einwirkung des Chlorgases ausgesetzt. Bei gewöhnlicher Temperatur fand noch keine Einwirkung statt, aber bei einer sehr geringen äuſseren Erwärmung erglühte das Metall im Chlorgase und das Chlorgas wurde mit der gröſsten Leichtigkeit absorbirt. Es bildeten sich beide Chlorverbindungen des Niobs, das gelbe flüchtige Niobchlorid, und das weiſse voluminöse Unterniobchlorid, letzteres aber in weit gröſserer Menge als ersteres, da durch die heftige Absorption des Chlorgases dieses plötzlich in hinreichender Menge fehlen muſste, um das gelbe Niobchlorid zu erzeugen. Wenn sich aber einmal das weiſse Unterniobchlorid gebildet hat, so läſst dasselbe sich auch durch Sublimation im Chlorgas nicht in gelbes Niobchlorid verwandeln. — Es blieb nur ein geringer Rückstand in der Kugelröhre; 0,380 Grm. des Niobmetalls hinterlieſsen nur 0,070 Grm. Dieser Rückstand besteht aber nicht nur aus niobsaurem oder unterniobsaurem Alkali, das im Metalle schon enthalten war, sondern es hatte sich ein saures Salz und alkalisches Chlormetall gebildet, dessen Menge aber nicht bestimmt wurde. Wenn wir aber auch diesen Rückstand als in dem angewandten Metall präexistirend annehmen, so war die Menge des wirklichen Metalls darin 81,58 Proc.; in Wirklichkeit muſste sie aber, des so eben bemerkten Umstands wegen, um etwas weniges gröſser seyn.

Nehmen wir nun an, dafs bei der Oxydation des Metalles durchs Glühen an der Luft sich Unterniobsäure, und nicht Niobsäure gebildet hat, so entspricht die Zunahme von 20,61 Gewichtstheilen, die 100 Th. des Metalles durch die Oxydation erlitten, 83,85 Proc. wirklichem Metalle in dem angewandten. Diefs weicht aber nur wenig ab von der Menge, welches sich aus dem Versuche mit Chlorgas ergiebt und würde wohl völlig damit übereinstimmen, wenn die Menge des Chlors im Rückstande bestimmt und durch ein Aequivalent von Sauerstoff ersetzt worden wäre, das durch das Chlor aus dem Alkali ausgetrieben wurde.

Jedenfalls beweisen diese Versuche, dafs aus dem metallischen Niob, welches durch Reduction aus Niobfluoridverbindungen vermittelst Natriums erzeugt worden war, durch Oxydation nicht die den Fluoridverbindungen entsprechende Niobsäure, NbO^2 entsteht, sondern Unterniobsäure Nb^2O^3. Das Niobmetall weicht also in seinem Verhalten beim Glühen an der Luft wesentlich vom Tantalmetall ab, aus welchem, wie wir oben gesehen haben, durch diesen Procefs die höchste Oxydationsstufe, Tantalsäure, TaO^2 entsteht.

Auch aus dem gelben Niobchlorid wurde vermittelst des Natriums das Metall dargestellt. Das erhaltene Niob war dem aus den Fluorverbindungen erhaltenen ganz gleich. Es hatte auch eine sehr ähnliche Dichtigkeit, nämlich 6,272.

Das specifische Gewicht dieses Niobs sollte noch einmal bestimmt werden, nachdem es in einem Strome von Wasserstoffgas geglüht worden. Als es aber nach dieser Operation nach dem gänzlichen Erkalten aus der Kugelröhre, in welcher es geglüht worden war, in einen Platintiegel gebracht wurde, erwärmte es sich durch den Zutritt der Luft plötzlich sehr stark, fing an sich auf der Oberfläche zu oxydiren, und beim Ausschütten aus dem Tiegel entzündete sich jedes Theilchen pyrophorisch und verbrannte mit der lebhaftesten Feuererscheinung. Nach dem freiwilligen Verbrennen sah die Masse schmutzig weifs aus. Es war diefs eine Mengung von oxydirtem und noch nicht oxydirtem Metall, aber letzteres hatte durch die starke Erhitzung einen solchen Zustand

der Dichtigkeit erhalten, oder war so von der entstandenen Säure umhüllt worden, dafs es der weiteren Oxydation durchs Glühen an der Luft widerstand, wenn dasselbe auch oft erneuert wurde. Die Gewichtszunahme durch die pyrophorische Entzündung war daher nur eine geringe. 0,859 Grm. des Metalls nahmen dadurch nur um 0,077 Grm. zu, oder 100 Th. des Metalls vermehrten sich um 8,96 Th.

Bei einer anderen Darstellung des Metalls aus dem Niobchlorid vermittelst Natriums, wo wohl eine stärkere Oxydation stattgefunden haben mufste, und sich viel Niobchlorid verflüchtigte, wurde ein Metall erhalten, dessen specifisches Gewicht nur 5,507 war, also viel Unterniobsäure enthalten mufste. Bei der Behandlung mit Chlorgas hinterliefs es auch einen bedeutenden Rückstand, bildete aber zugleich Niobchlorid und Unterniobchlorid.

II. Bei der Zersetzung des Kaliumunterniobfluorids vermittelst Kaliums wurde ein Metall erhalten, dessen Dichtigkeit zu 6,300 bestimmt wurde. 0,176 Grm. davon durchs Glühen an der Luft oxydirt gaben 0,215 Grm. Säure. Vom Metall hatten also 100 Th. 22,16 Th. aufgenommen. Die erhaltene Säure enthielt also 18,01 Proc. Sauerstoff, sie war Unterniobsäure von 19,73 Proc. Sauerstoff. Das Metall war also ein ziemlich reines, wie auch das höhere specifische Gewicht diefs zu erkennen giebt. Aus der Sauerstoffzunahme beim Glühen an der Luft zu schliefsen, enthielt das angewandte Niob 90,34 Proc. reines Metall. Die Resultate sind aber keine so ganz sichere, weil zu kleine Mengen des Metalls sowohl zur Bestimmung des specifischen Gewichts als auch zur Oxydation angewandt wurden.

Bei einer zweiten Darstellung des Niobs aus dem Unternatriumfluorid vermittelst Natriums wurde ein Metall erhalten, welches die hohe Dichtigkeit von 6,674 zeigte. 1,452 Grm. des Metalls beim Zutritt der Luft oxydirten sich nur an der Oberfläche unter Feuererscheinung, aber um die vollständige Oxydation zu bewirken, die sehr langsam vor sich ging, mufste das Metall sehr oft mit einem Platindraht umgerührt werden. Es fand eine Gewichtszunahme von

0,262 Grm. statt. Dieſs entspricht indessen nur einem Gehalt von reinem Metall im Niob von 73,42 Proc.

Daſs diese Säure in der That Unterniobsäure war, ergab sich auch durch das specifische Gewicht derselben. Es wurde dieſs zu 4,961 bestimmt. Wir werden weiter unten sehen, daſs dieſs die Dichtigkeit der Unterniobsäure seyn kann, wenn sie dem Rothglühen ausgesetzt gewesen ist.

Oft indessen wurde aus den Verbindungen des Unterniobfluorids vermittelst Natriums ein Metall erhalten, das ein niedrigeres specifisches Gewicht zeigte und in dem Maaſse eine geringere Menge von Sauerstoff beim Glühen an der Luft aufnahm. Es fand dieſs bei den vor längerer Zeit angestellten Versuchen besonders statt, als die schützende Decke von Chlorkalium bei der Reduction noch nicht angewandt wurde. Ein dargestelltes Niob hatte eine Dichtigkeit von 5,960. Es nahmen 0,976 Grm. von demselben beim Glühen an der Luft nur 0,117 Grm. Sauerstoff auf. Es enthielt daher nur 48,77 Proc. reines Metall.

Bei einer andern Darstellung wurde ein Niob erhalten, von welchem 0,857 Grm. durchs Verbrennen in einem Strome von Sauerstoffgas nur um 0,082 Grm. an Gewicht zunahmen. Das Niob war daher sehr unrein, und konnte nur 39,32 Proc. reines Metall enthalten.

Wurde das Niob von diesen Darstellungen mit Chlorgas behandelt, so wirkte dieſs nie bei gewöhnlicher Temperatur darauf ein. Beim Erhitzen verband sich aber das Metall mit dem Chlor unter Erglühen. Immer wurde hierbei gelbes Niobchlorid und weiſses voluminöses Unterniobchlorid erhalten.

Es erhellt indessen aus diesen Versuchen, daſs das metallische Niob, es mag aus den Verbindungen des Niobfluorids oder des Unterniobfluorids erhalten worden seyn, sich durch Oxydation vermittelst Glühens an der Luft nur zu Unterniobsäure, und nicht zu Niobsäure oxydirt.

III. Aus der Unterniobsäure kann man das metallische Niob vermittelst Phosphor reduciren, ein Verfahren, das bei der Reduction der Tantalsäure zu Tantal nur sehr unvoll-

kommen gelingt. Die reine Unterniobsäure indessen, bis zum Rothglühen gebracht, wird durch Phosphordämpfe nicht zersetzt. Sie wird dadurch nur ganz unbedeutend grau gefärbt; wird sie aber darauf mit Wasser behandelt, so löst dasselbe keine Phosphorsäure auf, denn selbst durch molybdänsaures Ammoniak können im Wasser nicht sichere Spuren davon nachgewiesen werden. Wendet man hingegen unterniobsaures Natron an, so findet durch die prädisponirende Verwandtschaft des Alkalis zu der sich bildenden Phosphorsäure eine Zersetzung statt. Es wurde ein unterniobsaures Natron angewandt, dessen Säure unmittelbar aus dem Columbit bereitet worden war, und um es sicherer von aller Einmengung von kohlensaurem Natron und daher das Niob rein von Kohle zu erhalten, wurde es als saures unterniobsaures Natron der Behandlung mit Phosphor unterworfen. Ich bin jetzt überzeugt, dafs ein möglichst neutrales Salz ein noch besseres Resultat gegeben haben würde. Das Salz wurde in eine Glasröhre von schwer schmelzbarem Glase gebracht und in einiger Entfernung davon eine Stange von Phosphor gelegt. Es wurde nun gut getrocknetes Wasserstoffgas durch den Apparat geleitet, das Salz darauf zum starken Rothglühen gebracht, dann der Phosphor erhitzt und dessen Dampf in dem Wasserstoffgasstrome langsam darüber geführt. Ich hörte mit dem Glühen des Salzes auf, als der Phosphor sich in einer am anderen Ende der Glasröhre angebrachten Vorlage vollständig verdichtete, und unverändert überdestillirte. Das unterniobsaure Natron wurde schon durch die erste Einwirkung des Phosphors ganz schwarz, und behielt die intensiv schwarze Farbe auch nach dem vollständigen Erkalten; dann wurde es erst mit kaltem und darauf mit heifsem Wasser ausgewaschen. Zuletzt mufsten dem Waschwasser einige Tropfen von Alkohol zugefügt werden, damit es nicht trübe durch das Filtrum ging. Es wurde so lange ausgewaschen, bis das Waschwasser keinen Rückstand auf Platinblech mehr hinterliefs.

Das Wasser hatte aus der schwarzen Masse pyrophosphorsaures Natron gelöst und gab mit salpetersaurem Sil-

beroxyd einen weifsen, in Salpetersäure löslichen Niederschlag. Wurde die Lösung mit Schwefelsäure versetzt zum Kochen gebracht, so schied sich eine äufserst geringe Menge von Unterniobsäure ab.

Das ausgewaschene metallische Niob wurde mit Chlorgas behandelt. Nachdem bei gewöhnlicher Temperatur während 24 Stunden keine Einwirkung stattgefunden hatte, wurde das Metall sehr wenig erhitzt, und dann plötzlich ein sehr rascher Strom von Chlorgas darüber geleitet, was dadurch bewirkt wurde, dafs zu der Mengung von Braunstein und Chlorwasserstoffsäure concentrirte Schwefelsäure hinzugefügt wurde. Es glückte auf diese Weise, nur gelbes Niobchlorid zu erhalten, ohne Einmengung von weifsem Unterniobchlorid. Es blieb aber ein weifser Rückstand, aus dem Wasser nur Chlornatrium auflöste, in welchem keine Spur von Phosphorsäure, selbst nicht durch molybdänsaures Ammoniak, zu entdecken war. Auch als das Ungelöste mit Chlorwasserstoffsäure gekocht wurde, konnte in der Säure durch molybdänsaures Ammoniak keine Spur von Phosphorsäure aufgefunden werden.

Die Dämpfe des gelben Niobchlorids wurden in eine Lösung von Kalihydrat geleitet, nachdem dann durch Schwefelsäure die Niobsäure entfernt worden, konnten in der abgeschiedenen Flüssigkeit sehr geringe Mengen von Phosphorsäure vermittelst des molybdänsauren Ammoniaks aufgefunden werden. Das metallische Niob enthielt also eine höchst geringe Menge Phosphor, aber so wenig, dafs man die Beimengung desselben für ganz unwesentlich halten kann.

Wurde das auf diese Weise erhaltene metallische Niob beim Zutritt der Luft geglüht, so ging die Oxydation desselben wegen seiner gröfseren Dichtigkeit sehr langsam von statten, und es fand dabei nur ein sehr schwaches Erglühen statt. Die Oberfläche blieb dabei lange schwarz, und es war stundenlanges Glühen nothwendig, um eine vollständige Oxydation zu bewirken. 1,594 Grm. vom metallischen Niob hatten endlich 0,245 Grm. Sauerstoff aufge-

nommen. Diefs entspricht 62,55 Proc. von reinem Metall im angewandten Niob.

Die durch Oxydation erhaltene Säure war durch das lange Glühen stark zusammengesintert, und sehr hart. Durchs Schmelzen mit saurem schwefelsaurem Ammoniak konnte sie nicht in demselben aufgelöst werden. Wurde aber die lange und anhaltend geschmolzene Masse mit Wasser behandelt, so schieden sich aus der Lösung nur wenige Flocken von Unterniobsäure ab, aber sie hinterliefs nach dem Abdampfen einen beträchtlichen Rückstand von schwefelsaurem Natron.

Die Unterniobsäure wird also in ihrem Natronsalze bei weitem leichter und vollständiger vermittelst des Phosphors zu Niob reducirt als die Tantalsäure dadurch zu Tantal. Ich bin auch überzeugt, dafs wenn statt des sauren das neutrale Salz der Unterniobsäure mit Natron angewandt worden wäre, das so erhaltene Niob noch reicher an reinem Metall ausgefallen wäre.

IX. *Elektroskopische Wirkung der Geifsler'schen Röhren; Notiz von P. Riefs.*

Die hohlen mit stark verdünnten Gasen gefüllten und eingeschmelzten Platindrähten versehenen Glaskörper, welche Hr. Geifsler in Bonn in verschiedener Form anfertigt, und die sich unter der Bezeichnung der Geifsler'schen Röhren in den Händen vieler Physiker befinden, eignen sich zu manchem lehrreichen Versuche über das elektrische Licht. Die folgenden Erfahrungen dürften von einigem Interesse seyn. Die meisten der mir vorgekommenen Röhren zeigten am Inductionsapparate wie an der Elektrisirmaschine das oft beschriebene in Schichten getheilte elektrische Licht, und nebenbei das schön grüne Fluorescenzlicht, welches im

Glase der Röhren durch das elektrische Licht hervorgerufen wird. Um die Aenderung der Lichterscheinung durch Wirkung eines Magnets am Leichtesten zu zeigen, dient die Röhrenform, welche aus zwei verschiedenen ($3\frac{1}{7}$ und $11\frac{1}{7}$ Linien) weiten Cylinderröhren zusammengesetzt, und deren Gasfüllung so regulirt ist, dafs bei einer gewissen Richtung des elektrischen Stromes nur die enge Röhre mit Licht erfüllt, die weite $3\frac{1}{4}$ Zoll lange Röhre hingegen bis auf die blauglimmende Platinelektrode dunkel ist. Umfafst man dann die weite Röhre mit den Schenkeln eines Stahlmagnets, so wird ein grofser Theil derselben mit geschichtetem Lichte erfüllt, und zwar werden die Lichtscheiben je nach der Lage der Pole des Magnets nach der einen oder anderen Seite hingedrängt. Da nicht alle so gestalteten von Geifsler gefertigten Röhren sich zu diesem Versuche eigneten (unter 8 von mir untersuchten nur 3), so liefs ich mir eine Glasröhre der beschriebenen Form anfertigen, an dem einen Ende mit einer durchbohrten, durch einen Stöpsel verschliefsbaren Fassung, an dem anderen Ende mit einem Hahnstücke versehen, und füllte sie mit Luft und Leuchtgas. War diese Röhre bis auf $1\frac{1}{7}$ Linie Quecksilberdruck exantlirt so zeigte sie die beschriebene Erscheinung. Das richtige Verhältnifs der Gase erhielt ich, indem ich die Röhre durch Verdrängen ganz mit Leuchtgas füllte, bis $1\frac{1}{7}$ Linie Druck auspumpte, sich mit Luft füllen liefs und wiederum exantlirte. Dieser Versuch ist, gleich auffallend, am Inductionsapparate wie an der Elektrisirmaschine anzustellen, der folgende am besten an einem Inductionsapparate, der mit einer geräuschlosen Unterbrechungsvorrichtung versehen ist. Legt man an eine leuchtende Geifsler'sche oder selbstgefertigte Röhre irgend welcher Form und Länge ein in der Hand gehaltenes Stanniolblatt, so entsteht ein rasselndes Geräusch, dem des Wassers vor dem Kochen ähnlich. Am stärksten ist das Geräusch, wenn das Stanniolblatt an eine Erweiterung der Röhre angelegt wird, und man erhält es daselbst oft auch ohne Stanniol durch leises Anlegen der Finger. Zugleich mit dem Geräusche tritt, wie ich beiläufig bemerke, die be-

kannte Ablenkung der Lichterscheinung ein, die an einer 19 Zoll langen Röhre in eigenthümlicher Weise statt fand. Die Mitte dieser Röhre bildete ein Ellipsoïd (Axen 3 und 2 Zoll) das mit einem matten schwach geschichteten rothen Lichte erfüllt war. Bei der Berührung des Ellipsoïds mit dem Finger bog sich nicht nur das rothe Licht demselben zu, sondern es erschien auch unter dem Finger an der innern Glaswand ein schön blaues Licht, das sich mehrere Linien hoch in das Innere des Ellipsoïds erhob. — Das auffallende Geräusch bei der Berührung der Röhren mit Leitern rührt von aufserordentlich kleinen zum Leiter überspringenden Funken her, welche, des ihnen nahen elektrischen Lichtes wegen, selbst in der Dunkelheit mir nicht sichtbar waren. Als ich aber eine Erweiterung, z. B. das beschriebene Ellipsoïd, mit einem Stanniolstreifen beklebte, so erhielt ich von diesem mit dem Finger, einem Stanniolblatte, oder einer feinen Drahtspitze, am Tage sichtbare Funken in grofser Menge. Die elektrisirte leuchtende Gassäule im Innern der Röhren wirkt durch Influenz auf das Glas, die ihr gleichnamige Elektricität geht beim Eintreten des Oeffnungsstromes vom Glase auf den angelegten Leiter über, und beim Aufhören desselben an das Glas zurück. Legt man an eine mit Stanniol bekleidete Stelle der Röhre den Zuleiter eines Goldblattelektroskops an, so bleiben die Blätter desselben in beständiger Bewegung, und das Elektroskop findet sich nur bei behutsamer Entfernung desselben von der Röhre geladen. Um die Anordnung der beiden Elektricitäten in der leuchtenden Gassäule zu finden, ist es daher sicherer, sich einer, nicht zu kleinen, Prüfungsscheibe aus Stanniol zu bedienen, diese an die Röhre anzulegen, ableitend zu berühren, zu isoliren und an einem Säulenelektroskope zu prüfen. Bequemer ist es, einen dünnen Draht vom Zuleiter des Säulenelektroskops zu einer mit Stanniol bekleideten, auf einen Augenblick ableitend berührten Stelle der Röhre zu führen. Eine ganz cylindrische 13½ Zoll lange, etwa 4 Linien weite Geifsler'sche Röhre zeigte eine gleichmäfsig lavendelblaue Lichtsäule mit einander parallelen scharfen Querstreifen, so

dafs sie, von der positiven Elektrode an bis 7 Linien vor der negativen Elektrode, einem in halbe Linien getheilten Maafsstabe ähnlich sah. Um diese Röhre wurde ein schmaler Stanniolstreifen gewickelt, und mit dem zum Säulenelektroskope führenden Silberdrahte festgebunden. Nach der Berührung dieses, an verschiedenen Stellen der Röhre gebrachten, Stanniolringes erhielt ich, dem Zeichen nach, constante Ausschläge des Goldblattes am Elektroskope. Waren beide Enden des Inductionsapparats gleich gut isolirt, so wurde die Mitte der Röhre gefunden durch Verschiebung des Stanniolringes bis zu der Stelle, wo das Elektroskop keine Elektricität anzeigte. Von da an bis zur positiven (Büschel-) Elektrode, wirkte die leuchtende Gassäule in zunehmender Stärke positiv influencirend auf den Stanniolring, und ebenso negativ influencirend bis zur negativen (Glimm-) Elektrode. Die Gassäule war demnach positiv elektrisch von der, beim Oeffnungsstrome, positiven Elektrode bis zur Mitte der Röhre, und von da an negativ bis zur negativen Elektrode, zeigte also dieselbe elektrische Anordnung, wie ein feuchter Faden, der die Pole einer Volta'schen Säule verbindet. Die Geifsler'schen Röhren mit Erweiterungen wirkten zwar bedeutend stärker elektroskopisch, als die eben beschriebene Röhre, gaben aber weniger constante Anzeigen, und ihre entgegengesetzt elektrischen Theile waren nicht an Länge einander gleich. Am stärksten elektrisch fand ich eine 19 Zoll lange unsymmetrische Röhre die, in dieser Folge, aus einer Kugel, einer $\frac{3}{4}$ Linie weiten Röhre, einem Ellipsoïde, einer 2 Linien weiten Röhre und einem horizontalen Cylinder zusammengesetzt war. Das in ihrer Mitte befindliche Ellipsoïd war so stark elektrisch, dafs es Funken gab, und zwar war daselbst die Art der Elektricität gleichartig mit der, welche der Cylinder gab, positiv oder negativ influencirend, je nachdem die Elektrode im Cylinder positiv oder negativ war. Diefs ist nicht auffallend; aber sehr bemerkenswerth scheint es mir, dafs bei allen Röhren der dunkle Raum vor der negativen Elektrode sehr schwach influenci-

rend wirkte. Bei keiner Röhre war diefs auffallender als an der oben bei der Wirkung des Magnets beschriebenen, die aus zwei ungleich weiten Röhren zusammengesetzt war, und in welcher der dunkle Raum fast die ganze Länge ($3\frac{1}{4}$ Zoll) der weiten Röhre einnahm. Als ein Stanniolring um die weite Röhre gelegt und mit dem Silberfaden des Säulenelektroskops verbunden war, erhielt ich von der ganzen Länge dieser Röhre nur sehr schwache Anzeigen einer Influenz von negativer Elektricität, wenn die Elektrode in derselben negativ war, hingegen sehr starke Influenz positiver Elektricität, wenn sie positiv war.

X. *Ueber den Einfluſs des Binocularsehens bei Beurtheilung der Entfernung durch Spiegelung und Brechung gesehener Gegenstände;*

von H. W. Dove.

(Monatsbericht. der Akad. 1858 Mai.)

Im Bericht von 1851, S. 252 [1]) habe ich die Beobachtung mitgetheilt, dafs man das durch einen Hohlspiegel entstehende umgekehrte Bild eines Gegenstandes nur vor demselben sieht, wenn man es mit beiden Augen betrachtet, hingegen auf der Oberfläche des Spiegels selbst, wenn man bei der Betrachtung desselben nur ein Auge anwendet. Der auf dem Titelbilde des dritten Buchs der Optik des Aguilonius erläuterte Satz, dafs monoculares Sehen über die Entfernung des erblickten Gegenstandes in Unsicherheit lasse, gilt also nicht nur für wirkliche Gegenstände, sondern auch für optische Bilder. Es war mir wahrscheinlich, dafs auch in den Fällen, wo nur rückwärts verlängerte Strahlen von bestimmten Punkten auszugehen scheinen, also nicht sich kreuzend, wirkliche optische Bilder erzeugen, nur binoculares Sehen

1) Ann. Bd. 83, S. 188.

die sichere Entscheidung über die Entfernung jener virtuellen Bilder gebe, während das monoculare sie unentschieden lasse. Die nachfolgenden Versuche erläutern diefs für die einfachsten Fälle, in welchen diese virtuellen Bilder entstehen.

1. Spiegelung von einer ebenen Oberfläche.

Der Satz, dafs die von einem ebenen Spiegel reflectirten Strahlen so von demselben zurückgesendet werden, dafs sie von einem Punkte auszugehen scheinen, der so weit hinter dem Spiegel liegt, als der strahlende Punkt vor ihm, ist ein so evidenter, dafs man sich, glaube ich, kaum die Frage gestellt hat, ob ein Einäugiger sein Bild im Spiegel, ein mit zwei Augen sehender dasselbe hinter demselben erblicke. Da aber eine Sehrichtung keine Bestimmung enthält über die Lage irgend eines Punktes in derselben, so kann höchstens die Entscheidung darüber davon abhängen, dafs wir zwei Gegenstände nicht gleichzeitig deutlich sehen können, von denen die Entfernung des einen das Doppelte der Entfernung des andern ist. Fassen wir aber einen derselben scharf ins Auge, so mufs die Entfernung des andern unentschieden bleiben. Diefs ist aber wirklich der Fall. Ich hielt einen kreisförmigen ebenen Spiegel von $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser so gegen einen hellen Grund, dafs ich mein Bild binocular deutlich hinter demselben erblickte. Ich schlofs nun das eine Auge und sah nach einiger Zeit den Spiegel so weit zurücktreten, dafs der Rand desselben nun mein Bild als Rahmen umfafste.

2. Hebung bei der Brechung durch Planscheiben und Prismen.

s'Gravesande sagt im §. 739 seiner 1720 erschienenen *Physices elementa mathematica*: »Gegenstände durch ein ebenes von parallelen Flächen begränztes Glas gesehen, erscheinen in geringerer Entfernung als mit blofsen Augen. Die scheinbare Gröfse des Gegenstandes wird durch Zwischenhalten des Planglases vermehrt, dennoch erscheint der Ge-

genstand nicht im Verhältnifs der vermehrten Gröfse gröfser, denn er erscheint nun in geringerer Entfernung.«

Hier ist nicht gesagt, ob von monocularer oder binocularer Betrachtung die Rede sey. Diesen Punkt hat erst Moser im Artikel« Auge» im fünften Bande des Repertoriums der Physik S. 393 zur Sprache gebracht. Moser bemerkt, dafs man dem Gesichtswinkel in Bezug auf die Fähigkeit des Auges, die Entfernungen relativ zu schätzen, nur eine Wichtigkeit zweiten Ranges zuschreiben könne, insofern seine Hülfe nur dann dem Auge nützen könne, wenn es mit der Gestalt des zu beurtheilenden Gegenstandes schon anderweitig ungefähr bekannt sey. Die eigentliche Art, auf welche ein Auge für sich allein die relative Entfernung der Gegenstände beurtheilt, bestehe darin, dafs es sich adaptire und ein Bewufstsein über die Adaptirung in sich trage. Man müsse ihm hierin ein sehr vollkommenes Gefühl zuschreiben und die Adaptirung in einem weitern Sinn nehmen, nämlich auch für solche Entfernungen zugeben, wo sie nicht mehr im Stande ist, Bilder von einer hinlänglich grofsen Deutlichkeit hervorzubringen. Die Hebung durch Brechung gesehener Gegenstände, die des Doppelbildes in Kalkspath gehöre hierher. In diesen Fällen löse ein Auge für sich allein schon die Aufgabe, die Sicherheit wachse aber bei Anwendung beider Augen, da es sich von selbst verstehe, dafs dergleichen Urtheile desto sicherer werden, je mehr Hülfsmittel gegeben sind.

Die von mir angestellten Versuche sprechen gegen diese Ableitung. Der Unterschied der Hebung bei allen hier erwähnten Erscheinungen ist bei binocularer und monocularer Betrachtung so grofs, dafs die letztere bei dieser oft als vollkommen verschwindend bezeichnet werden mufs, und wo sie noch stattfindet, in der Vergröfserung des Gesichtswinkels ihre hinreichende Erklärung findet. Wo diese unbedeutend ist, wie bei dem Kalkspath, erscheinen die Doppelbilder bei monocularer Betrachtung in einer Ebene, während bei binocularer sich eine höchst auffallende Hebung des einen zeigt. Folgende Versuche bestätigten diefs.

Zwei in lebhaften Farben ausgeführte gleiche Zeichnun- von nahe zwei Zoll Seite, wurden neben einander gelegt und auf die eine ein klarer Glaswürfel von derselben Seite gestellt. Binocular bei senkrechtem Herabsehen betrachtet, erschien die Fläche fast bis zur Hälfte gehoben als vollkommene Ebene; nach Schliefsen des einen Auges trat sie fast genau in die Ebene der daneben liegenden Fläche zurück, nur etwas gröfser erscheinend. Darauf wurde ein stark farbiger Glaswürfel von ein Zoll Seite unter den grofsen klaren Glaswürfel gestellt. Bei binocularer Betrachtung erschien der Würfel als ein vierseitiges Prisma von fast doppelter Höhe, nämlich viel höher als der daraufstehende Würfel, bei monocularer beide Würfel als Würfel in ihren natürlichen Verhältnissen. Besonders entscheidend ist aber folgender Versuch. Ich entwarf die senkrechte Projection einer abgekürzten vierseitigen Pyramide, deren quadratische Grundfläche gleich der des durchsichtigen Würfels war, mit einer Anzahl gleich weiter abstehender Querschnitte. Binocular erschien diese Projection im Glaswürfel gehoben als Ebene, monocular vertiefte sie sich hingegen zu der perspectivischen Ansicht eines tiefen vierseitigen Tunnels; da nämlich im Moment des Schliefsens des einen Auges die Schnittfläche der Pyramide sich entfernte, so erschienen die Kanten derselben mit ihren Endpunkten an die Vorderfläche des Glaswürfels sich anzulehnen. Diese Erscheinung hat das Eigenthümliche, dafs hier die Ansicht mit zwei Augen die Vorstellung einer Fläche, die mit einem die eines Körpers hervorruft.

Zeichnet man eine gröfsere Anzahl concentrischer Kreise in gleichem Abstand von einander und füllt die Zwischenräume derselben schwarz aus, so dafs man dadurch breite concentrische schwarze Streifen in einer weifsen Ebene erhält, so erscheinen diese, binocular senkrecht herab durch ein gerades Kegelprisma betrachtet, auf der der Kegelfläche zu liegen, mit einem Auge gesehen in der ebenen Grundfläche desselben. in gleicher Weise erscheinen ebene Spi-

ralen im ersten Falle schneckenförmig, im letzten als ebene Spiralen.

3. Brechung durch einen Kalkspath.

Betrachtet man durch ein grofses Kalkspathrhomboëder eine ebene Zeichnung binocular, so scheint das eine Bild stark über das andere gehoben, monocular beide in einer Ebene. Betrachtet man mit einem Auge dieselbe durch den Kalkspath, während man sie zugleich mit dem bloſsen andern Auge fixirt, so wird der Unterschied der Entfernung beider Bilder bedeutend gröſser, indem eins der durch den Kalkspath gesehenen Bilder sich mit dem mit bloſsem Auge gesehenen combinirt. Hält man nämlich, indem man das Rhomboëder auf die Zeichnung legt, vor jedes Auge ein Nicol'sches Prisma, so sieht man doch nur ein Bild, sowohl wenn die Polarisationsebenen beider Nicols parallel, als auch wenn sie senkrecht auf einander. Dreht man hingegen einen der Nicols so, daſs er zwei Bilder giebt, während der andere nur eins giebt, so sieht man die Hebung in derselben Weise verstärkt, als wenn man die Zeichnung ohne Nicols betrachtet, und vor das eine Auge das Rhomboëder hält.

Mit einem Prismenstereoskop (Pseudoskop) binocular betrachtet, erscheint das mit bloſsen Augen gehobene Bild als ein vertieftes.

Wenn man daher auch zugeben kann, daſs bei Betrachtung eines Körpers mit einem unbewegten Auge die verschiedene Deutlichkeit, in welche die nähern und entferneren Theile desselben erscheinen, in uns die Vorstellung zu erregen vermag, daſs wir nicht eine Fläche sondern einen Körper sehen, so gilt dieſs doch nicht für die Bestimmung der Entfernung einer Ebene, wenn wir diese durch Brechung unter einem etwas veränderten Gesichtswinkel sehen.

XI. *Bemerkungen über das Tyrit genannte Mineral; von Adolf Kenngott in Zürich.*

In Folge meiner früheren in diesen Annalen mitgetheilten Bemerkungen (siehe Band XCVII, S. 622) über das Tyrit genannte Mineral, welche zum Zwecke hatten, zu zeigen, dafs eine Vereinigung des Tyrits mit dem Fergusonit sehr wahrscheinlich sey, hat Hr. D. Forbes (*Lond. Edinb. and Dubl. Philos. Magaz. Vol. XIII, p.* 91) weitere Untersuchungen des Tyrits veranstaltet, welche wohl seine früheren Angaben zum gröfsten Theile bestätigen, keinesweges aber das entkräften, was ich zu Gunsten der Identität des Tyrits und Fergusonits angeführt habe.

Da die frühere Analyse am Tyrit von Hampemyr gemacht worden war, so wurde jetzt der von Helle bei Näskül untersucht, welcher Fundort nicht auf Tromsoe bei Arendal befindlich ist, wie ich früher der dem untersuchten Exemplare beigegebenen Etiquette gemäfs anführte, sondern wie Hr. Forbes berichtet, noch auf dem Festlande, 10 englische Meilen östlich von Arendal liegt.

Der Tyrit kommt daselbst ziemlich reichlich und zuweilen in Krystallen von zwei Zollen Länge vor, doch konnte Hr. Forbes keine so gut ausgebildeten erlangen, wie ich sie gemessen und beschrieben habe. Er fand an keinem der ihm zu Gebote stehenden zahlreichen Krystalle die Kanten anders als sehr ungerade und unbestimmt, indem die Krystalle abgerundet oder zusammengedrückt erschienen und fast immer pyramidal waren, in eine Spitze ohne bestimmte Flächen verlaufend. Nicht der geringste Grad von Vertrauen konnte den Messungen mit dem Anlegegoniometer geschenkt werden, nur soviel liefs sich mit Bestimmtheit finden, dafs sie einen vierseitigen Durchschnitt hatten und wahrscheinlich quadratisch waren. Verschieden von denen von Hampemyr hatten sie einen deutlichen Blätterdurchgang und Spuren von zwei anderen. Ueberhaupt waren Bruch, Spaltbar-

keit und Farbe so verschieden von denen des Original-Tyrits von Hampemyr, dafs ohne die Uebereinstimmung in der Analyse es ungewifs gelten könnte, dafs sie zur gleichen Species gehören.

Weil nun Hr. Forbes keine zur Bestimmung der Krystallgestalt tauglichen Krystalle finden konnte, Hr. Dr. Bondi aber an das k. k. Hof-Mineralien-Cabinet in Wien bessere Krystalle einsendete, deren Gestalten ich bestimmte, so schliefst Hr. Forbes, dafs die Krystallgestalten des Fergusonits und Tyrits nicht übereinstimmen. Die Unrichtigkeit eines solchen Schlusses liegt klar vor den Augen. Mir war es gewifs gleichgültig, wenn ein Tyrit neben Fergusonit als Mineralspecies existirte, die Ausbildung aber einer so seltenen Form, wie sie der Fergusonit hat und wie ich sie übereinstimmend an dem Tyrit von Helle sah, war die Ursache, dafs ich mich für den Tyrit mehr interessirte, als es geschehen wäre, wenn die Krystalle so gewesen wären, wie sie Hrn. Forbes vorlagen. Die von mir beschriebenen Krystalle sind, wie ich bereits früher anführte, von dem genannten Cabinete acquirirt worden und liegen zu Jedermanns Ansicht da; aufserdem habe ich nicht unterlassen anzugeben, dafs Hr. Dr. Bondi in seinem begleitenden Schreiben die Bemerkung machte, dafs der Tyrit vielleicht gleich Fergusonit seyn könne, eine Bemerkung, die zunächst durch die Gestalt der Krystalle hervorgerufen wurde.

Wenn Hr. Forbes früher an dem Tyrit von Hampemyr keine Spaltungsflächen fand und ich diese seine Bestimmung als Charakter des Tyrits hinnahm, ohne an den Krystallen von Helle darnach zu suchen, so war diefs sehr natürlich, denn an zwei schönen Krystallen einer neuen Species nach Spaltungsflächen zu suchen, wäre nicht im Interesse der Wissenschaft gewesen. Hr. Forbes hatte dazu reichlicheres Material und fand einen deutlichen Blätterdurchgang, ohne uns jedoch in Kenntnifs zu setzen, in welcher Richtung, was beiläufig bemerkt, gewifs Hrn. Forbes möglich gewesen wäre, wenn auch seine Krystalle nicht gerade mefsbar waren. Sind einmal die Krystalle sämmtlich pyramidale und

kann man sie, wie Hr. Forbes sie beurtheilte, für quadratische halten, so wäre die Richtung eines deutlichen Blätterdurchganges insoweit zu bestimmen gewesen, ob derselbe der Basisfläche entspreche oder nicht.

Wir sehen somit, dafs die morphologischen Verhältnisse des Tyrits und Fergusonits in demselben Maafse wie früher für die Vereinigung beider Minerale sprechen, denn auf den deutlichen Blätterdurchgang kann hier kein Nachdruck gelegt werden, weil der Tyrit von Hampemyr ihn ebenso wenig wie der Fergusonit zeigt, dagegen es eben so nahe liegt, dafs er am Fergusonit noch gefunden werden kann, gerade wie ihn der Tyrit von Helle finden liefs, nachdem ihn Forbes nicht an dem von Hampemyr gefunden hatte.

In den übrigen Eigenschaften hat sich nichts Neues auffinden lassen, was den damaligen Standpunkt änderte. Die Analyse des Tyrits von Helle diente nur dazu, zu zeigen, dafs der Tyrit von Hampemyr und der von Helle bezüglich der Zusammensetzung übereinstimmen und wesentlich Wasser enthalten, woran von meiner Seite nicht im Geringsten gezweifelt wurde, als ich die Analyse des Tyrits von Hampemyr citirte. Nichts destoweniger habe ich noch dieselbe Ansicht über die Zusammensetzung des Fergusonits und kann meine gegenwärtigen Bemerkungen über den Tyrit mit denselben Worten wie meine erste Notiz schliefsen, dafs die noch bestehenden Abweichungen ihre genügende Erklärung finden müssen, sobald beide chemisch genau bestimmt seyn werden, denn vor der Hand ist es nur der Tyrit.

XII. *Gediegen Kupfer pseudomorph nach Aragonit; von E. Söchting in Berlin.*

Im Jahre 1853 berichtete ich (Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften, Bd. II, Juli, S. 30) nach einem Exemplare aus der Sammlung des Hrn. Prof. Sartorius

von Waltershausen in Göttingen über eine Pseudomorphose gediegenen Kupfers um ein scheinbar sechsseitig-prismatisches Mineral in ähnlicher Gruppirung, wie sie beim Aragonit vorkommt. Als Fundort war, doch mit Unsicherheit, die Gegend des Lake Superior angegeben. Später zeigte mir Hr. Bergrath Breithaupt in der Freiberger Sammlung Aehnliches von Bolivia, was er (Berg- und hüttenmännische Zeitung, Jahrg. XII, 1853, Juni, S. 401) gleichfalls als Pseudomorphose nach Aragonit beschrieben hatte. Ich schlofs mich, da in dem letztgenannten Lande das Vorkommen ein so häufiges seyn soll, dafs man beim Kupferausbringen Gebrauch davon macht, der Ansicht an, dafs auch das von mir vorher beobachtete Stück ebendaher stammen möge (a. a. O. Bd. V, S. 370). Mit Bezugnahme auf die von mir gegebene Beschreibung als Umhüllungspseudomorphose gab neuerdings Hr. Prof. Kenngott (Vierteljahrsschrift d. Naturf. Ges. in Zürich, Jahrg. II, 1857, Heft 2, S. 203) ausführliche Notizen über ein ganz ähnliches Stück der Sammlung des Züricher Polytechnicums von Corocora in Bern und betrachtet dasselbe als Verdrängungspseudomorphose. Von demselben Fundorte und in derselben Gestaltung sah ich solche im Jahre 1855 im *Musée d'histoire naturelle* des *Jardin des plantes* in Paris, woselbst man auch ganz übereinstimmende Krystalle derselben Fundstelle aufbewahrt, welche als Pseudomorphosen von Gyps nach Aragonit bezeichnet werden.

Vor Kurzem erhielt Hr. Maler Brücke hierselbst eine Anzahl solcher pseudomorpher Kupferkrystalle von Corocora, deren Untersuchung er mir freundlichst gestattete. Ihre ganze Erscheinung stimmt mit dem überein, was bereits darüber geschrieben ist. Aufser den Krystallgruppen nach Art der aragonitischen von Molina, Bastènes u. s. w. (aber von weit geringerer Gröfse, als die früher gesehenen, indem sie nur höchstens $\frac{1}{2}$ Zoll erreichten) — befinden sich darunter auch scheinbar einfache sechsseitige Prismen mit mehr oder minder dünnem Kupferüberzuge, so dafs man stellenweise das unterliegende weifse oder weifsliche Mine-

ral erkennen kann, das sich beim Befeuchten mit Säure durch ein äufserst lebhaftes Aufbrausen als kohlensaurer Kalk zu erkennen giebt. Leider war es nicht möglich, das specifische Gewicht zu bestimmen. Doch zeigten Versuche über die Härte, dafs Kalkspath kräftig geritzt wurde, selbst aber nicht angriff, wie beim Aragonit der Fall ist, so dafs darnach, in Verbindung mit der Krystallgestalt, wohl nicht mehr zu zweifeln ist, dafs man es in der That mit diesem Minerale zu thun habe, und man also den von Hrn. Prof. G. Rose (Ueber die heteromorphen Zustände der kohlensauren Kalkerde: Abhandl. d. phys. math. Kl. der Berl. Akad. 1856, S. 63 ff.; Zeitsch. d. deutsch. geol. Ges. VIII, S. 551) aufgeführten Pseudomorphosen, zu denen der Aragonit Veranlassung giebt, auch noch die in Rede stehende hinzufügen kann.

Was die Frage anlangt, ob, nach der bisherigen Ausdrucksweise, eine Umhüllungs- oder eine Verdrängungspseudomorphose vorliege, so glaube ich, dafs wohl nur in wenigen Fällen (z. B. bei der Umhüllung von Quarz durch Brauneisen, durch Eisenkies) eine Umhüllung ohne gleichseitige, mehr oder minder starke, Verdrängung des Grundkörpers in Folge seiner gröfsern Löslichkeit oder seiner Zersetzung durch die Bestandtheile des neu zu bildenden Minerals herbeiführenden Flüssigkeiten vor sich gehen dürfte. Die Reduction von metallischem Kupfer dürfte wohl nur erst nach Ablagerung in Gestalt einer weiteren Kupferverbindung erfolgt seyn. Eine Vermuthung über die Art und Weise dieses Vorganges wage ich jedoch nicht auszusprechen, da mir noch über die sonstige Beschaffenheit der Fundstätte nähere Kenntnifs fehlt.

XIII. *Beobachtungen der Bodentemperatur unweit Freising; von Prof. Dr. Meister.*

Am 11. Juli 1853 grub ich drei von Greiner in München gefertigte Erdthermometer (mit weiter Kugel und sehr enger Röhre) im Versuchsfelde von Weihenstephan ein und zwar befindet sich die Kugel des ersten Thermometers etwa 3 Zoll, die des zweiten 4 Fufs und die des dritten 6 Fufs tief unter der Erdoberfläche und ist der Boden selbst schwerer sandiger Lehmboden. Diese bis zur Stunde vergrabenen Instrumente wurden anfangs Vormittags und Nachmittags, später einmal des Tags und endlich als ich mich von dem gesetzmäfsigen Gang der Temperatur im Erdboden überzeugt hatte, alle 2 oder 5 Tage beobachtet und die Resultate endlich wegen Wärmeeinflusses der obern Bodenschichten (beim zweiten und dritten Thermometer) corrigirt und theile ich nun im Nachstehenden die von 1853 bis 1857 (incl.) erhaltenen Resultate mit, denen ich zur möglichen Vergleichung die im nahen Freising durch 20jährigen Beobachtungen gewonnenen Temperatur-Mittel im Schatten anfüge, da die einzelnen an derselben Stelle des Versuchsfeldes erhaltenen Beobachtungen der Lufttemperaturen keine genügende Darstellung der hiesigen Temperatur-Verhältnisse gewähren würden, weshalb auch die Nichtübereinstimmung des Mittels in 3″ Tiefe mit den andern.

Monat	Temperatur des Bodens			Lufttemperatur
	3″	4′	6′	
Januar	— 1,26°	2,17	4,50	— 1,76
Februar	— 0,76	1,68	3,77	— 0,44
März	+ 0,39	1,82	3,45	2,04
April	5,31	4,50	4,20	6,97
Mai	9,70	6,81	5,56	11,13
Juni	13,14	9,67	7,59	14,48
Juli	14,76	11,90	9,22	15,50
August	14,28	12,69	10,39	14,45
September	9,98	11,19	10,44	11,18
October	7,93	9,57	9,60	7,34
November	2,25	6,40	8,05	2,79
December	— 0,31	3,60	5,90	— 0,92
Januar	6,29	6,83	6,89	6,60

Das Temperatur-Maximum in 4′ Tiefe fällt zwischen den 30. Juli und 20. Aug. und beträgt . . . 13°,4

Das Temperatur-Maximum in 6′ Tiefe fällt zwischen Ende August und Mitte September . . . . . 10°,9

Das Temperatur-Minimum in 4′ Tiefe fällt im Mittel auf Anfang März . . . . . 1°,1

Das Temperatur-Minimum in 6′ Tiefe fällt im Mittel auf Mitte März . . . . . 3°,3

Es zeigen diese Maxima und Minima nur geringe Schwankungen, die wie allbekannt und wie auch hier sich zeigte, mit der Tiefe abnehmen. Die *täglichen* Temperatur-Veränderungen lassen sich dahier in 4′ Tiefe noch wahrnehmen und zwar auch hier nur im August und zeigen nur den geringen Betrag von 0,1° R.

Freising d. 31. März 1858.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Grünstr. 18.

1858. ANNALEN No. 7.
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND CIV.

I. *Ueber das Verhältnifs der Schwingungsrichtung des Lichtes zur Polarisationsebene und die Bestimmung dieses Verhältnisses durch die Beugung; von Friedrich Eisenlohr in Heidelberg.*

Die Frage, ob die Aethertheilchen in einem Lichtstrahle senkrecht zur Polarisationsebene schwingen, oder in derselben, ist in der letzten Zeit wieder lebhaft angeregt worden, und zwei ausgezeichnete Beobachter, Stokes und Holtzmann, haben neuerdings versucht, mit Hülfe der Beugung eine Entscheidung darüber zu geben. Die Zweckmäfsigkeit dieses Weges läfst sich nicht ableugnen, aber beide Beobachter sind zu verschiedenen Resultaten gekommen. Da Stokes seine Versuche nicht mitgetheilt und auch die Genauigkeit der Versuche von Holtzmann nicht bezweifelt hat, so werden wir uns vorzüglich an die letzteren zu halten haben. Holtzmann fand nämlich, dafs Licht, welches durch eine Glasplatte geht, und an dessen hinterer Fläche durch ein Rufsgitter gebeugt wird, in stärkerem Verhältnifs gebeugt wird, wenn seine Polarisationsebene vor der Beugung parallel den Spalten des Gitters, als wenn sie senkrecht dazu war; oder dafs im Allgemeinen die Polarisationsebene des einfallenden Strahles im gebeugten Strahle nach der Richtung der Spalten hin gedreht ist. Nach den theoretischen Betrachtungen, welche ihn und Stokes bei diesen Versuchen geleitet hatten, schien das Ergebnifs die Annahme zu begünstigen, dafs der Aether in der Polarisationsebene schwinge. Aber wenn auch die Versuche von Holtzmann eine entgegengesetzte Drehung der Polarisationsebene nachwiesen, als Stokes nach seiner Voraussetzung erwartet

hatte, so läfst sich doch auch nicht verhehlen, dafs diese Drehung durchschnittlich doppelt so grofs war, als nach der eigenen Berechnung des Beobachters, und es wäre jedenfalls sehr gewagt, jene Versuche als Stütze einer Theorie zu betrachten, mit welcher sie so schlecht harmoniren. Wenigstens schlofs ich daraus, dafs keine von beiden Theorien die Erscheinungen zu erklären vermöchte, und dafs man die eintretende Beugung einer genaueren Untersuchung unterwerfen müfste. Wirklich fand ich nun auch, dafs eine solche, wenn man mit Stokes annimmt, dafs die Schwingungen des Aethers senkrecht zur Polarisationsebene erfolgen, zu Formeln führt, die sich sehr gut den Versuchen von Holtzmann anschliefsen.

Leider ist mir die grofse Arbeit von Stokes über die Beugung nicht zugänglich. Was sowohl er als Holtzmann bei Mittheilung ihrer Versuche über die Theorie aussprechen, läfst sich kurz so zusammenfassen. Die Schwingungen des Aethers erfolgen in dem Lichtstrahl, der senkrecht zum Gitter einfällt, parallel diesem Gitter; wird also der Lichtstrahl gebeugt, so kann man die Schwingungen zerlegen in solche, welche senkrecht zum gebeugten Strahle und solche, welche ihm parallel sind; nur die ersteren geben zu gebeugtem Lichte Veranlassung, die letzteren sind ohne allen Einfluſs auf die Beugung; es folgt daraus, dafs die Schwingungsebene des gebeugten Strahles stets parallel den Schwingungen des einfallenden ist; und ferner, dafs wenn die Schwingungen des einfallenden Strahles mit der Beugungsebene (der Ebene, welche den einfallenden und gebeugten Strahl enthält) den Winkel γ bildet, die des gebeugten dagegen den Winkel γ'; für den Beugungswinkel β

$$\operatorname{tg}\gamma' = \frac{\operatorname{tg}\gamma}{\cos\beta}$$

seyn mufs.

Ob aber wirklich die longitudinalen Schwingungen ohne allen Einfluſs sind, verdient noch eine besondere Prüfung. Wir werden später sehen, dafs sich ihre Wirkung auch in einem und demselben Medium zeigt; findet aber die Beu-

gung beim Uebergange von einem Medium in das andere statt, wie in den angeführten Versuchen, so kann ihr Einfluſs gar nicht bezweifelt werden. Ich erinnere hier vorzüglich an die Formeln, welche Cauchy für die Intensität des gespiegelten und gebrochenen Lichtes aufgestellt hat. Indem er nämlich die beiden Voraussetzungen machte, daſs, wenn eine Aetherwelle an die Gränze zweier Medien gelangt, die Bewegung des Aethers an dieser Gränze in beiden Medien dieselbe und aufserdem continuirlich seyn müsse; dabei aber die longitudinalen Schwingungen mit berücksichtigte, fand er, daſs die früheren Formeln von Fresnel, welche auf jene Schwingungen keine Rücksicht genommen, modificirt werden müſsten. Diese Modification wurde nun auf die merkwürdigste Weise durch Versuche von Jamin bestätigt; die Genauigkeit, mit der die beobachtete elliptische Polarisation und Intensität des gespiegelten Strahles die Vorhersagungen Cauchy's erfüllt, ist in der That so groſs, daſs ein Zweifel an seinen theoretischen Grundlagen kaum übrig bleibt, und daſs zugleich die Voraussetzung, welche Cauchy macht, daſs die Schwingungen senkrecht zur Polarisationsebene erfolgen, hierdurch als bewiesen angesehen werden kann. Ich habe demnach auch kein Bedenken getragen, die oben erwähnten Bedingungen, daſs die Bewegung des Aethers in zwei Medien an der Gränze gleich und continuirlich seyn müsse, auf die Theorie der Beugung anzuwenden. Es hat sich dabei gezeigt, daſs die longitudinalen Schwingungen hier allerdings einen bedeutenden Einfluſs ausüben, einen viel gröſseren, als bei den Versuchen von Jamin. Während nämlich dort bloſs eine Gröſse ins Spiel kam, welche von der sehr kleinen Differenz der Wellenlängen, oder richtiger gesagt, der Absorptionscoëfficienten der longitudinalen Schwingungen in beiden Medien abhängt, hängt die Intensität des gebeugten Lichtes von dem Produkte dieser Coëfficienten ab. Ich will mich hier mit der Angabe des Resultats und einer allgemeinen Andeutung des Weges, auf welchem man dazu gelangt, begnügen, indem ich die genauere Rechnung auf den folgenden Aufsatz verspare. Man

kann erwarten bei der Bestimmung des Intensitätsverhältnisses der senkrecht zur Beugungsebene und in derselben schwingenden Strahlen sich nicht weit von der Wahrheit zu entfernen, wenn man den aus Glas in Luft gebeugten Strahl ansieht als erzeugt durch Brechung eines Strahles, dessen Richtung mit dem des gebeugten, nach dem Snellius'schen Gesetze zusammenhängt, dessen Schwingungen aber parallel der Glasfläche sind; dieſs giebt in der That mit Hülfe der obigen Bedingungen eine Formel, welche ziemlich den Versuchen von Holtzmann entspricht. Aber das senkrecht einfallende Licht wird in seiner Wirkung auf den gebeugten Strahl durch einen schiefen Strahl zwar an der Gränzfläche selbst ersetzt, jedoch nicht in der dieser Gränzfläche unendlich nahe liegenden Schicht, auf welche man wegen des Princips der Continuität auch Rücksicht nehmen muſs. Geschieht dieſs, so erhält man die genauere jetzt mitzutheilende Gleichung. Bedeutet γ und γ' dasselbe wie früher, n den Brechungsexponenten des Glases, λ die Wellenlänge im Glase, $\frac{\lambda}{l_{,,}}$ und $\frac{\lambda}{l'}$ die Absorptionscoëfficienten im Glase und der Luft; d. h., die Logarithmen des Verhältnisses, nach welchem die longitudinalen Schwingungen bei der Fortpflanzung durch den Weg $\frac{\lambda}{2\pi}$ abnehmen, α' den Beugungswinkel, ist ferner $n \sin \alpha = \sin \alpha'$, so ist

$$1) \quad \operatorname{tg}\gamma' = \frac{\operatorname{tg}\gamma \cdot \cos(\alpha - \alpha')}{1 + 2\sin^2 \cdot \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{l_{,,} \cdot l'}{\lambda^2}} .$$

Die folgende Tabelle enthält die Zusammenstellung dieser Formel mit den Versuchen von Holtzmann. Dabei habe ich für n den gewöhnlichen Werth 1,53 angenommen, und $\frac{2 l_{,,} \cdot l'}{\lambda^2} = 9{,}5$ bestimmt.

α'	γ	γ' beobachtet	γ' nach Formel 1)	γ' nach Holtzmann's Berechn.
10° 36	45° 36′	44° 27′	44° 34′	45° 9′
20 17	44 5	40 32	40 32	42 15
20 35	45 36	40 52	41 57	43 43
31 5	45 0	38 6	37 29	40 35
32 17	45 36	38 4	38 9	40 49

Man sieht, wie gut die beobachteten Werthe mit den nach Formel 1) berechneten zusammenstimmen; die bedeutendste Abweichung von 1° 5′ in der dritten Beobachtung beruht wohl auf einem Versuchsfehler, da diese Beobachtung bei einer um nur 18 Minuten gröfseren Beugung ein ganz anderes Verhältnifs von $\frac{tg\gamma'}{tg\gamma}$ ergäbe, als die zweite. Sollte hier wirklich kein Versuchsfehler vorliegen, so würde ich vermuthen, dafs beide Beobachtungen zwei verschiedenen Beugungsspectren angehören, und darin einen Beweis sehen, dafs für Farben, welche im Spectrum weit auseinanderliegen, die Gröfse $\frac{\lambda^2}{l_{,,}l''}$ ziemlich verschieden ist, was auch ohnedem Wahrscheinlichkeit hat; aber es ist bei der geringen Anzahl von Versuchen wohl nicht erlaubt, solche Hypothesen zu verfolgen. Man könnte glauben, dafs wenigstens die Beugung in einem und demselben Medium sich nach dem Stokes'schen Gesetze richte. Man müfste, um sie zu beobachten, etwa zwei Glasplatten, in deren eine ein Gitter eingeritzt ist, so aufeinanderpressen, dafs die Newton'schen Ringe ganz verschwinden, wenn das möglich ist. Aber nach der Formel 1) läfst sich voraussehen dafs auch hier der Einfluſs der longitudinalen Schwingungen nur noch reiner sich zeigen wird. Sie wird nämlich dann:

$$2)\quad tg\gamma' = \frac{tg\gamma}{1 + \frac{2l_{,,}^2 \sin^2 . \frac{\alpha}{2}}{\lambda^2}}.$$

Aus dem Vorhergehenden wird man sehen, welches ganz besondere Interesse die hier besprochenen Versuche bieten, wenn sie auch das zunächst dabei gestellte Problem nicht so direct lösen, als man anfangs vermuthete. In der That sind sie das beste Prüfungsmittel für longitudinale Aetherschwingungen, und es kann nicht genug die Wichtigkeit hervorgehoben werden, welche eine recht gründliche und mannigfaltig abgeänderte experimentelle Prüfung dieser Erscheinungen für die Wissenschaft hätte, weil dadurch neben

der Entscheidung über die hier zu Grunde gelegten Hypothesen, auch das Wesen der longitudinalen Schwingungen aufgehellt würde. Um aber zu der Frage zurückzukehren, welche der Ausgangspunkt der Versuche war, so möchte ich bemerken, dafs die Ansicht, welche der obigen Formel zu Grunde liegt, dafs die Schwingungen des Lichtes senkrecht zur Polarisationsebene erfolgen, nicht nur durch die nachgewiesene Uebereinstimmung jener Formel mit den Versuchen, sondern auch von anderen Seiten her, so viele Stützpunkte findet, dafs wir sie wohl als erwiesen betrachten dürfen.

Ich habe nämlich schon oben erwähnt, dafs die auffallende Bestätigung, welche die Rechnung Cauchy's durch die Versuche von Jamin gefunden hat, ein schlagender Beweis für die Ansicht über die Schwingungsrichtung ist, welche er seiner Rechnung zu Grunde gelegt hat, und diefs ist eben die erwähnte. Ein anderer Beweis liegt in einer älteren theoretischen Arbeit von Fresnel, welche leider zu wenig bekannt ist.

Die Aberration hat den Beweis geliefert, dafs der die Erde umgebende Aether nicht an ihrer Bewegung Theil nimmt; da also hierdurch das Licht eines Sternes, der sich in der Richtung dieser Bewegung befindet, in seiner Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Bezug auf die Erde so wohl im leeren Raume als in den Körpern eine Aenderung erfährt, und zwar im Allgemeinen nicht in gleichem Verhältnisse, so sollte man eine Aenderung des Brechungsverhältnisses durchsichtiger Körper für dieses Licht erwarten, so dafs das durch ein Prisma gebrochene Bild des Sternes wegen der Erdbewegung abgelenkt würde. Diese Ablenkung mufs, wie man sieht, von der ersten Potenz von $\frac{c}{w}$ abhängen, wenn c die Geschwindigkeit der Erde, w die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes ist; sie ist also, wie die Aberration, mefsbar, und erfolgt, wenn c sein Vorzeichen wechselt, d. h. je nachdem sich die Erde dem Sterne nähert, oder von ihm entfernt, im entgegengesetzten Sinne. Trotzdem

war Arago mit den schärfsten Hülfsmitteln nicht im Stande, eine solche Ablenkung wahrzunehmen. Fresnel hat nun in einem Briefe an Arago [1]) diese negative Thatsache unter der Voraussetzung erklärt, dafs die Elasticität des Aethers in allen Körpern dieselbe, die Dichtigkeit aber dem Quadrate des Brechungsexponenten proportional sey; und es läfst sich nicht einsehen, wie auf anderem Wege die Erklärung gelingen solle. Bekanntlich sind diefs aber dieselben Voraussetzungen, die von jenem Physiker adoptirt wurden, um die verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in verschiedenen Medien zu erklären, und welche mit der Annahme, dafs die Schwingungen des Aethers senkrecht zur Polarisationsebene erfolge, im nothwendigen Zusammenhang steht. Die Bestätigung, welche also jene Voraussetzungen durch den Aufsatz von Fresnel erfahren, erstreckt sich auch auf diese Annahme. Vielleicht darf ich hoffen, zur Verbreitung des interessanten Beweises von Fresnel beizutragen, wenn ich die von ihm gegebene mathematische Ableitung durch eine einfache geometrische ersetze. Ist LL' (Taf. III Fig. 1) das auf die Vorderfläche AC eines Glasprismas senkrecht auffallende Lichtbündel, das von einem Sterne ausgeht, von welchem sich die Erde gerade entfernt; so wird es ungebrochen bis PM fortschreiten. Wir nehmen nun der Einfachheit wegen an, statt dafs sich die Erde bewege und der Aether in Ruhe bleibe, die Erde sey in Ruhe, und der sie umgebende Aether bewege sich der Fortpflanzung des Lichtes entgegen, mit der Geschwindigkeit c. Ist also in dem Prisma die Dichtigkeit des Aethers im Verhältnifs zur äufseren Δ, so ist hier seine Geschwindigkeit $\frac{c}{\Delta}$, weil die an der Fläche AC befindlichen Aethertheilchen sich in derselben Zeit um den Weg 1 von derselben entfernt haben müssen, in welcher die bis zur Tiefe $\frac{1}{\Delta}$ in dem Prisma enthaltene Aethermasse aus demselben getreten ist, um nun die Länge 1 im leeren Raume zu erfüllen. Be-

1) *Ann. de chim. et de phys. T. IX*, (1818) *p.* 56.

zeichnen wir demnach die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes durch w, den Brechungsexponenten durch n, so wird sich die Lichtwelle PM, welche bei M aus dem Prisma tritt, mit der Geschwindigkeit $\frac{w}{n} - \frac{c}{\Delta}$ von P nach N fortbewegen; ist also die verflossene Zeit τ, so ist $PN = \frac{w\tau}{n} - \frac{c\tau}{\Delta}$. Zugleich wird sich von M eine kreisförmige Welle ausgebreitet haben, welche nach der Zeit τ den Radius τw hat, aber mit dem Aether um $c\tau$ verschoben ist, so dafs der gedachte Mittelpunkt dieses Kreises nun in M' um $c\tau$ weiter innen als M liegt (es versteht sich, dafs nichtsdestoweniger die einmal aus dem Glase getretene Welle aufserhalb desselben bleibt). Man erhält also den austretenden Strahl, wenn man von N aus eine Senkrechte auf die Linie $M'R = \tau w$ fällt. Um diesen Strahl zu beobachten, mufs man jedoch das Fernrohr in die Lage MR bringen, weil, wenn MR die Länge des Fernrohrs ist, der Aether sich in derselben Zeit von M nach M' bewegt, in welcher der im ruhenden Aether fortgepflanzte Lichtstrahl, den Weg $M'R$ zurücklegen würde, der Strahl also die aus beide resultirende Bewegung MR annimmt.

Nun haben aber die Versuche von Arago gezeigt, dafs diese Richtung mit derjenigen zusammenfällt, welche der gebrochene Strahl bei ruhendem Aether haben würde, wenigstens soweit die Genauigkeit dieser Versuche reicht, welche das Verhältnifs $\frac{c}{w}$ noch messen können, aber nicht das Quadrat dieses Verhältnisses. Diese Thatsche kann man zur Bestimmung von Δ benutzen; denn fällt man von N auf MR die Senkrechte NS, so mufs nach dem eben Gesagten $MS = n \,.\, PN = \tau w - c\tau \, \frac{n}{\Delta}$ seyn. Zieht man ferner MU senkrecht zu BC, UV senkrecht zu MR, so ist wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke RNS und URV, und der Dreiecke NMS und MUV:

$$NS \,.\, UV = RS \,.\, RV = MV \,.\, MS,$$

und aus der letzten Gleichung folgt, wie man leicht sieht,

$$MS = RV = \tau w - c\tau \frac{n}{\Delta}.$$

Diefs giebt:

$$\frac{n}{\Delta} = \frac{\tau w - RV}{c\tau} = \frac{M'R - RV}{MM'}.$$

Wegen der Kleinheit des Winkels $M'RM$ kann man mit hinlänglicher Annäherung setzen:

$UR = VR$ also wird $M'R - RV = M'U$; und wenn TM' parallel UM gezogen wird, so kann man für UM' sogleich TM setzen, welches davon nur um eine verschwindend kleine Gröfse verschieden ist, und erhält

$$\frac{n}{\Delta} = \frac{MT}{MM'} = \frac{\sin MM'T}{\sin MTM'},$$

wo nur solche Gröfsen vernachlässigt sind, welche von dem Quadrate von $\frac{c}{w}$ abhängen, sich also der Beobachtung entziehen.

Weil aber

$$MM'T = NMP$$
$$MTM' = 180^\circ - MNS$$

und aufserdem

$$\frac{\sin NMP}{\sin MNS} = \frac{1}{n},$$

so ist auch

$$\frac{n}{\Delta} = \frac{\sin MM'T}{\sin MTM'} = \frac{\sin NMP}{\sin MNS} = \frac{1}{n}$$

$$\text{oder } n^2 = \Delta,$$

was zu beweisen war.

Ich habe schon oben gesagt, dafs das hier nachgewiesene Verhältnifs der Dichtigkeit zugleich die Annahme bedingt, dafs die Schwingungen senkrecht zur Polarisationsebene erfolgen. Nehmen wir aber statt der obigen Voraussetzung, dafs die Erde in Ruhe sey, an, dafs, wie es sich wirklich verhält, der sie umgebende Aether sich nicht bewege, die Erde aber die Geschwindigkeit c habe, so bleibt offenbar die ganze Betrachtung dieselbe; die Geschwindigkeit aber, mit der sich der Aether in dem Prisma bewegt ist nun der Geschwindigkeit des Prismas gleich, weniger der Geschwindigkeit, die er im ruhenden Prisma im entgegengesetzten Sinne gehabt haben würde oder $c - \frac{c}{\Delta} = c\left(\frac{n^2 - 1}{n^2}\right)$,

d. h. der Aether wird von der Bewegung des Prisma fortgerissen, wenn auch nicht mit der vollen Geschwindigkeit desselben. Diese Folgerung wurde bekanntlich in den letzten Jahren von Foucault durch directe Versuche mit Wasser (wo $\frac{n^2-1}{n^2}$ beinahe $\frac{1}{2}$ ist) bestätigt.

II. *Ableitung der Formeln für die Intensität des an der Oberfläche zweier isotropen Mittel gespiegelten, gebrochenen und gebeugten Lichtes;* von *Friedrich Eisenlohr.*

Ich habe in dem vorigen Aufsatze eine Formel für die Intensität des gebeugten Lichtes gegeben, welche sich auf die von Cauchy bei seinen Reflexionsformeln gemachten Voraussetzungen stützt. Indem ich dieselbe hier begründe, halte ich es für zweckmäfsig, alle jene von Cauchy ohne Beweis gegebenen Resultate im Zusammenhange abzuleiten, um die Beziehung hervorzuheben, in welcher die erstere zu der letzteren steht.

Es giebt zwei verschiedene Ableitungen der Cauchy'schen Formeln, die eine, welche Beer in einer langen Reihe von Abhandlungen in diesen Annalen gegeben hat, die andere in einem sehr interessanten Aufsatze von v. Ettingshausen [1]). Ich glaubte mich an die letztere anschliefsen zu müssen, nicht blofs, weil die Betrachtungsweise von v. Ettingshausen erlaubt, die ganze Rechnung viel kürzer und einfacher zu entwickeln, sondern vorzüglich, weil sie die wahren Ursachen der Erscheinungen und die Bedeutung der Constanten, welche hier vorkommen, hervortreten läfst. Da jedoch v. Ettingshausen mehr die Vor-

1) Sitzungsber. d. Kaiserl. Akademie der Wissenschaft. Math. naturw. Klasse 1855, IV, S. 369.

aussetzungen und den allgemeinen Gang der Untersuchung, als die Resultate, welche sich daraus ableiten lassen, im Detail angegeben, und sich aufserdem auf den gewöhnlichen Fall der Reflexion beschränkt hat, so glaubte ich, es würde den Physikern angenehm seyn, wenn jene Resultate daraus gezogen würden, und dadurch erstens Gelegenheit gegeben würde, theoretische Fragen, welche sich über die zu Grunde gelegten Voraussetzungen erheben, zu erörtern, zweitens aber das ganze Material in einen übersichtlichen Zusammenhang gebracht würde; insbesondere hoffte ich auch durch die Ableitung der von Cauchy gegebenen Gesetze der Metallreflexion eine Lücke auszufüllen, welche hier trotz des Interesses, welches sich an jene Erscheinungen knüpft, noch immer besteht.

Um zu ermitteln, welche Bewegungen im Aether durch ein ebenes Wellensystem hervorgerufen werden, wenn dasselbe an die Gränzfläche zweier Medien gelangt, stellte Cauchy den Grundsatz auf, dafs die Summe aller auftretenden Bewegungen längs der ganzen Gränzfläche und in jedem Zeitmomente in beiden Medien dieselbe und eine continuirliche sey; mit andern Worten, dafs alle Aethertheilchen, welche in der Ruhelage eine Ebene einnehmen, die z. B. senkrecht zur Gränzfläche ist, sich in Folge aller dieser Bewegungen zu einer beliebigen Zeit auf einer Fläche befinden, welche nirgends, also auch nicht an der Gränzfläche, eine plötzliche Aenderung in ihrer Lage oder Richtung zeigt. Im entgegengesetzten Falle würden nämlich sogleich die Kräfte, welche die Schwingungen der Aethertheilchen bewirken, ins Unendliche wachsen. Die möglichen Wellensysteme, welche in den beiden Medien bestehen können, müssen also noch aufserdem der Bedingung genügen, dafs die Summe der Componenten der Verrückungen, welche ein Aethertheilchen an der Gränzfläche vermöge der verschiedenen Wellensysteme (das einfallende miteingerechnet) erleidet, nach drei zu einander senkrechten Richtungen in beiden Medien dieselbe sey, und dafs Gleichheit bestehe zwischen den Summen der nach einer zur Gränzfläche senkrechten Richtung ge-

nommenen Differentialquotienten dieser Componenten. Hiebei ist freilich angenommen, dafs die in einem Medium bestehenden Wellensysteme an der Gränzfläche keine Aenderung erfahren, obgleich daselbst eigentlich die Beschaffenheit des einen Medium allmählich in die des andern übergeht; aber man ist wohl berechtigt, davon abzusehen, weil dieser Uebergang jedenfalls, wegen der schnellen Abnahme der Aetherwirkung mit der Entfernung, ein sehr rascher ist.

Denkt man also die x-Axe senkrecht zur Gränzfläche und so gezogen, dafs sie mit der Fortpflanzungsrichtung der einfallenden Welle einen spitzen Winkel bildet, die y- und z-Axe in der Gränzfläche, die erstere aber in der Einfallsebene und ebenfalls mit der Fortpflanzungsrichtung einen spitzen Winkel bildend; und bezeichnet man die Ausbeugungen des Aethers in der Richtung dieser drei Axen durch die Buchstaben ξ, η, ζ, welche man für die einfallende Welle gar nicht, für die dadurch in dem gleichen Medium erregten Wellen unten, für die des andern Mediums oben, für transversale Schwingungen einmal, für longitudinale Schwingungen zweimal accentuirt; so kann man die Bedingungen, welche für $x = 0$ bestehen müssen, auf folgende Weise schreiben:

$$
\begin{aligned}
a)\quad & \xi + \xi_{,} + \xi_{,,} = \xi' + \xi'' \\
b)\quad & \eta + \eta_{,} + \eta_{,,} = \eta' + \eta'' \\
c)\quad & \zeta + \zeta_{,} + \zeta_{,,} = \zeta' + \zeta'' \\
d)\quad & \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial \xi_{,}}{\partial x} + \frac{\partial \xi_{,,}}{\partial x} = \frac{\partial \xi'}{\partial x} + \frac{\partial \xi''}{\partial x} \\
e)\quad & \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \eta_{,}}{\partial x} + \frac{\partial \eta_{,,}}{\partial x} = \frac{\partial \eta'}{\partial x} + \frac{\partial \eta''}{\partial x} \\
f)\quad & \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial \zeta_{,}}{\partial x} + \frac{\partial \zeta_{,,}}{\partial x} = \frac{\partial \zeta'}{\partial x} + \frac{\partial \zeta''}{\partial x}.
\end{aligned}
$$

Weil die Ebenen aller erzeugten Wellensysteme nothwendig zur Einfallsebene senkrecht stehen müssen, so sind $\zeta_{,,}$, ζ'', $\frac{\partial \zeta_{,,}}{\partial x}$ und $\frac{\partial \zeta''}{\partial x}$ der Null gleich. Wir unterscheiden nun bei dem ebenen einfallenden transversalen Wellensy-

steme die beiden Fälle, wo die Schwingungen senkrecht zur Einfallsebene und in der Einfallsebene erfolgen.

Das Licht schwinge senkrecht zur Einfallsebene.

In dem ersten Falle sind ξ, η, $\frac{\partial\xi}{\partial x}$, $\frac{\partial\eta}{\partial x}$ der Null gleich, und deswegen fallen auch alle übrigen Glieder der Gleichungen *a*), *b*), *d*), *e*) weg. Weil also nur transversale Wellensysteme in Betracht kommen, so haben wir für die Verrückung eines Aethertheilchens, dessen Coordinaten x, y, z sind, zur Zeit t die Gleichung:

$$\zeta = \cos 2\pi \left(\frac{x\cos\alpha + y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t+\vartheta}{\tau}\right)$$

wenn λ die Wellenlänge, τ die Schwingungsdauer, ϑ die Phase, endlich α den Einfallswinkel bedeutet, die Intensität A aber der Einheit gleichgesetzt wird; accentuirt man dieselben Gröfsen bei dem Wellensysteme, das in demselben Medium entsteht, dem gespiegelten, und dem Wellensysteme in dem andern Medium, dem gebrochenen, so ist ferner:

$$\zeta_1 = A_1 \cos 2\pi \left(\frac{x\cos\alpha_1 + y\sin\alpha_1}{\lambda_1} - \frac{t+\vartheta_1}{\tau_1}\right);$$

$$\zeta' = A' \cos 2\pi \left(\frac{x\cos\alpha' + y\sin\alpha'}{\lambda'} - \frac{t+\vartheta'}{\tau'}\right).$$

Damit nun die Gleichungen *c*) und *f*) für $x = 0$ und für jeden Werth von y und t gültig bleiben, mufs der Coëfficient dieser beiden in ζ, ξ_1, ξ' gleich seyn, d. h. $\tau = \tau_1 = \tau'$, also auch $\lambda = \lambda_1$, und $\frac{\sin\alpha}{\lambda} = \frac{\sin\alpha_1}{\lambda} = \frac{\sin\alpha'}{\lambda'}$. $\sin\alpha$ ist also gleich $\sin\alpha_1$, aber weil der Winkel α zwischen der Fortpflanzungsrichtung und der x-Axe, bei dem einfallenden und gebrochenen Lichte spitz, bei dem gespiegelten stumpf ist, so sind $\cos\alpha$, $\cos\alpha'$ positiv, $\cos\alpha_1$ negativ und $\alpha_1 = 180 - \alpha$. Aufserdem geben die obigen Bedingungen

$$\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta + A_1 \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_1 = A' \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta'$$

und

$$\frac{\cos\alpha}{\lambda}\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta + \frac{\cos\alpha_1}{\lambda}\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_1 = \frac{\cos\alpha'}{\lambda'}\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta'.$$

Hier bedeuten die Klammern [ ], dafs die Gleichungen sowohl für den Cosinus als den Sinus von ϑ Geltung haben. Wir erhalten daraus $\vartheta = \vartheta_1 = \vartheta'$ und

$$A_1 = \frac{\sin(\alpha' - \alpha)}{\sin(\alpha' + \alpha)}; \quad A' = \frac{2\sin\alpha'\cos\alpha}{\sin(\alpha' + \alpha)}$$

und für ζ_1 und ζ' die Werthe

$$\left.\begin{aligned} \zeta_1 &= \frac{\sin(\alpha' - \alpha)}{\sin(\alpha' + \alpha)} \cos 2\pi \left(\frac{-x\cos\alpha + y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t + \vartheta}{\tau}\right) \\ \zeta' &= \frac{2\sin\alpha'\cos\alpha}{\sin(\alpha' + \alpha)} \cos 2\pi \left(\frac{x\cos\alpha' + y\sin\alpha'}{\lambda'} - \frac{t + \vartheta}{\tau}\right) \end{aligned}\right\} \text{I).}$$

Wird in diesen Formeln der Coëfficient der Kreisfunction, dessen Quadrat ein Maafs der Intensität ist, negativ, so ist dieſs so zu verstehen, dafs die Phase um 180° verzögert ist. Dieſs tritt z. B. bei der Reflexion an einem optisch dichteren Medium ein, weil hier $\sin(\alpha' - \alpha)$ negativ wird; man hätte hier eigentlich zu schreiben:

$$\zeta_1 = \frac{\sin(\alpha - \alpha')}{\sin(\alpha + \alpha')} \cos 2\pi \left(\frac{-x\cos\alpha + y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t + \vartheta}{\tau} + \tfrac{1}{2}\right).$$

Totale Reflexion.

Wird in den obigen Formeln $\sin\alpha'$ oder $\frac{\lambda'\sin\alpha}{\lambda}$ gröſser als die Einheit, was nur geschehen kann, wenn $\lambda' > \lambda$, so erhalten wir für den Winkel α' und $\cos\alpha'$ imaginäre Werthe. Die scheinbare Ungereimtheit dieses Ergebnisses läfst sich aber leicht heben; wir haben nämlich im Vorigen überall, besonders bei der Bestimmung der Winkel ϑ_1 und ϑ' vorausgesetzt, dafs alle in den Gleichungen vorkommende Gröſsen reell seyen; ist dieſs aber nicht der Fall, so sind auch die erhaltenen Gleichungen für die Bewegungen des Aethers nicht mehr gültig, und wir werden sie durch allgemeinere ersetzen müssen. Wenn die erhaltenen Gleichungen von der Form $\zeta = \cos m$; $\zeta_1 = A_1 \cos m_1$; $\zeta' = A' \cos m'$ der Beschaffenheit beider Medien, d. h. den linearen Differentialgleichungen für die Bewegung des Aethers in beiden Medien und den oben aufgestellten Gränzbedingungen genügen, so genügen ihnen auch die Gleichungen $\zeta = \cos(m - 90°)\sqrt{-1}$,

$\zeta_1 = A_1 \cos(m_1 - 90^0)\sqrt{-1}$, $\zeta' = A' \cos(m' - 90^0)\sqrt{-1}$ und auch die Summe der beiden Ausdrücke. Die allgemeineren Integrale der Differentialgleichungen sind also:

$$\zeta = e^{m\sqrt{-1}} \quad \zeta_1 = A_1 e^{m_1\sqrt{-1}} \quad \zeta' = A' e^{m'\sqrt{-1}}$$

und in diesen müssen sowohl die reellen als die imaginären Theile für sich eine Auflösung geben. Sind also m, m_1, m', A_1, A' reell, so sind wir berechtigt, wie wir es eben gethan haben, $\cos m$ statt $e^{m\sqrt{-1}}$ zu setzen und so weiter; sind aber einige dieser Gröfsen imaginäre, wird z. B.

$$A' e^{m'\sqrt{-1}} = (a + b\sqrt{-1})\, e^{(\alpha+\beta\sqrt{-1})\sqrt{-1}}$$

so kann man dafür setzen:

$$\sqrt{a^2+b}\,.\,e^{-\beta}\,.\,e^{\left[\alpha + \operatorname{arc\,tg}\left(\frac{b}{a}\right)\right]\sqrt{-1}}$$

und hier mufs der reelle Theil allein oder $\sqrt{a^2+b^2}\,.\,e^{-\beta}$ $\cos\left(\alpha + \operatorname{arc\,tg}\frac{b}{a}\right)$ zur Auflösung der Gleichungen genommen werden.

Es ist übrigens sehr leicht, im vorkommenden Falle $\frac{b\sqrt{-1}}{b}$ und $\sqrt{a^2+b^2}$ zu berechnen; denn, wenn man in der complexen Gröfse $a + b\sqrt{-1}$ allen mit $\sqrt{-1}$ multiplicirten Theilen den entgegengesetzten Werth beilegt, so erhält man $a - b\sqrt{-1}$, und es ist sodann

$$\frac{b\sqrt{-1}}{a} = \frac{(a+b\sqrt{-1}) - (a-b\sqrt{-1})}{(a+b\sqrt{-1}) + (a-b\sqrt{-1})}.$$

Um also z. B. aus $\frac{2\sin\alpha'\cos\alpha}{\sin(\alpha+\alpha')}$, welches in dem Falle, dafs $\sin\alpha' > 1$ ist, die Form $a + b\sqrt{-1}$ annimmt, $\frac{b\sqrt{-1}}{a}$ zu berechnen, setzen wir statt α' nur $180^0 - \alpha'$, so erhält der imaginäre $\cos\alpha'$ das entgegengesetzte Zeichen, und es ist

$$a - b\sqrt{-1} = \frac{2\sin\alpha'\cos\alpha}{\sin(\alpha' - \alpha)} \text{ und}$$

$$\frac{b\sqrt{-1}}{a} = \frac{\sin(\alpha'-\alpha) - \sin(\alpha'+\alpha)}{\sin(\alpha'-\alpha) + \sin(\alpha'+\alpha)} = \frac{-\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\alpha'} = \operatorname{tg}\varrho\sqrt{-1},$$

ebenso ist

$$\sqrt{a^2+b^2} = \sqrt{(a+b\sqrt{-1})(a-b\sqrt{-1})}$$
$$= \sqrt{\frac{2\sin^2\alpha\cos^2\alpha}{\sin^2\alpha'-\sin^2\alpha}} = 2\cos\varrho.$$

Auf diese Weise erhält man, wenn $\operatorname{tg}\varrho = \operatorname{tg}\alpha\sqrt{1-\frac{\lambda^2}{\lambda'^2\sin^2\alpha}}$ gesetzt wird

$$\left.\begin{aligned}\zeta_i &= \cos 2\pi\left(\frac{-x\cos\alpha+y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t+\vartheta}{\tau} - \frac{\varrho}{\pi}\right)\\ \zeta' &= 2\cos\varrho\, e^{-\frac{x\cos\alpha\operatorname{tg}\varrho}{\lambda}}\cos 2\pi\left(\frac{y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t+\vartheta}{\tau} - \frac{\varrho}{2\pi}\right)\end{aligned}\right\}\ \text{II.}$$

Diese Formeln geben demnach die Gesetze für die Totalreflexion. Die Intensität des reflectirten Lichtes ist der Einheit gleich, die Phase um 2ϱ verzögert.

Das Licht schwinge in der Einfallsebene.

In diesem Falle haben wir für die Gränzfläche die Bedingungen *a*), *b*), *d*), *e*). Wird also die Bewegung in der einfallenden transversalen Welle ausgedrückt durch die Gleichungen:

$$\begin{bmatrix}\zeta\\ \eta\end{bmatrix} = \cos 2\pi\left(\frac{x\cos\alpha+y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t+\vartheta}{\tau}\right)\begin{bmatrix}\sin\alpha\\ -\cos\alpha\end{bmatrix},$$

wo die Klammern bedeuten, dafs die Gleichungen für ζ und η nur in den Factoren $\sin\alpha$ und $-\cos\alpha$ verschieden sind; ferner in den andern transversalen Wellensystemen durch Gleichungen, in welchen dieselben Buchstaben nur entsprechend accentuirt sind; und die Intensitäten durch $A_,$ und A' bezeichnet werden mögen; haben wir ferner für die longitudinalen Schwingungen die Gleichungen

$$\begin{bmatrix}\xi_{,,}\\ \eta_{,,}\end{bmatrix} = A_{,,}\cos 2\pi\left(\frac{x\cos\alpha_{,,}+y\sin\alpha_{,,}}{\lambda} - \frac{t+\vartheta_{,,}}{\tau_{,,}}\right)\begin{bmatrix}\cos\alpha_{,,}\\ \sin\alpha_{,,}\end{bmatrix},$$

in welchen für das zweite Medium die Buchstaben oben zu accentuiren sind, so müssen diese Bewegungen für $x=0$ noch den Gränzbedingungen genügen. Wir erhalten demnach wieder $\tau=\tau_,=\tau_{,,}=\tau'=\tau''$, also $\lambda=\lambda_,$, ferner:

$$\frac{\sin\alpha}{\lambda} = \frac{\sin\alpha_{,}}{\lambda} = \frac{\sin\alpha_{,,}}{\lambda_{,,}} = \frac{\sin\alpha'}{\lambda'} = \frac{\sin\alpha''}{\lambda''}$$

und es ist wieder, aus dem gleichen Grunde wie oben, $\cos\alpha$, $\cos\alpha'$, $\cos\alpha''$ positiv, $\cos\alpha_{,}$ und $\cos\alpha_{,,}$ negativ zu nehmen. Die Bedingungsgleichungen für ξ, η, $\frac{\partial\xi}{\partial x}$ und $\frac{\partial\eta}{\partial x}$ geben die vier Gleichungen:

1) $$\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta\sin\alpha + A_{,}\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,}\sin\alpha_{,} + A_{,,}\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,,}\cos\alpha_{,,}$$
$$= A'\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta'\sin\alpha' + A''\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta''\cos\alpha''$$

2) $$\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta\cos\alpha + A_{,}\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,}\cos\alpha_{,} - A_{,,}\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,,}\sin\alpha_{,,}$$
$$= A'\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta'\cos\alpha' - A''\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta''\sin\alpha''$$

3) $$\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta\frac{\sin\alpha\cos\alpha}{\lambda} + A_{,}\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,}\frac{\sin\alpha_{,}\cos\alpha_{,}}{\lambda} + A_{,,}\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,,}\frac{\cos^2\alpha_{,}}{\lambda_{,,}}$$
$$= A'\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta'\frac{\cos\alpha'\sin\alpha'}{\lambda'} + A''\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta''\frac{\cos^2\alpha''}{\lambda''}$$

4) $$\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta\frac{\cos^2\alpha}{\lambda} + A_{,}\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,}\frac{\cos^2\alpha_{,}}{\lambda} - A_{,,}\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,,}\frac{\cos\alpha_{,,}\sin\alpha_{,,}}{\lambda_{,,}}$$
$$= A'\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta'\frac{\cos^2\alpha'}{\lambda'} + A''\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta''\frac{\cos\alpha''\sin\alpha''}{\lambda''}$$

Die Gleichung 1) mit $\frac{\sin\alpha}{\lambda}$ multiplicirt und zu 4) addirt, ferner die Gleichung 2) mit $\frac{\sin\alpha}{\lambda}$ multiplicirt und zu 3) addirt geben:

$$\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta\cdot\frac{1}{\lambda} + \frac{A_{,}}{\lambda}\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,} = \frac{A'}{\lambda'}\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta';$$
$$\frac{A_{,,}}{\lambda_{,,}}\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,,} = \frac{A''}{\lambda''}\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta''.$$

Durch Einführung dieser Werthe in 1) und 2) erhalten wir $\vartheta = \vartheta_{,} = \vartheta' = \vartheta_{,,} = \vartheta''$ und die Gleichungen:

$$\left[\frac{\xi_{,}}{\eta_{,}}\right] = \frac{\sin(\alpha-\alpha')\,.\,\cos(\alpha+\alpha'-\alpha_{,,}-\alpha'')}{\sin(\alpha+\alpha')\,.\,\cos(\alpha-\alpha'+\alpha_{,,}+\alpha'')} \times$$
$$\cos 2\pi\left(\frac{-x\cos\alpha+y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t+\vartheta}{\tau}\right)\left[\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}\right]$$
$$\left[\frac{\xi_{,,}}{\eta_{,,}}\right] = \frac{-2\sin(\alpha-\alpha')\cos\alpha\sin\alpha_{,,}}{\sin(\alpha_{,,}-\alpha'')\cos(\alpha-\alpha'+\alpha_{,,}+\alpha'')} \times$$
$$\cos 2\pi\left(\frac{x\cos\alpha_{,,}+y\sin\alpha_{,,}}{\lambda_{,,}} - \frac{t+\vartheta}{\tau}\right)\left[\frac{\cos\alpha_{,,}}{\sin\alpha_{,,}}\right]$$
$$\left[\frac{\xi'}{\eta'}\right] = \frac{2\cos\alpha\sin\alpha'\cos(\alpha_{,,}+\alpha'')}{\sin(\alpha+\alpha')\cos(\alpha-\alpha'+\alpha_{,,}+\alpha'')} \times$$
$$\cos 2\pi\left(\frac{x\cos\alpha'+y\sin\alpha'}{\lambda'} - \frac{t+\vartheta}{\tau}\right)\left[\frac{\sin\alpha'}{\cos\alpha'}\right]$$
$$\left[\frac{\xi''}{\eta''}\right] = \frac{-2\sin(\alpha-\alpha')\cos\alpha\sin\alpha''}{\sin(\alpha_{,,}-\alpha'')\cos(\alpha-\alpha'+\alpha_{,,}+\alpha'')} \times$$
$$\cos 2\pi\left(\frac{x\cos\alpha''+y\sin\alpha''}{\lambda''} - \frac{t+\vartheta}{\tau}\left[\frac{\cos\alpha''}{\sin\alpha''}\right]\right). \qquad \text{III.}$$

Wir haben bei Ableitung dieser Gleichungen stillschweigend vorausgesetzt, dafs auch die longitudinalen Schwingungen, wie die transversalen sich als regelmäfsige Wellen fortpflanzen; nun machen aber die Beobachtungen wahrscheinlich, dafs vielmehr eine Abnahme in geometrischer Progression stattfinde, oder, dafs, wenn die Normale zur Wellebene ϱ in arithmetischer Progression wächst, das Gesetz der Fortpflanzung statt durch $e^{\frac{2\pi\varrho}{\lambda_{,,}}\sqrt{-1}}$, durch $e^{\frac{-2\pi\varrho}{l_{,,}}}$ ausgedrückt werde. Wir hätten demgemäfs in den Gleichungen III statt $\lambda_{,,}$ und λ'', zu setzen $\frac{l_{,,}}{\sqrt{-1}}$ und $\frac{l'}{\sqrt{-1}}$, so dafs $\sin\alpha_{,,}$ und $\sin\alpha''$ imaginär, $\cos\alpha_{,,}$ reell und negativ, $\cos\alpha''$ reell und positiv wird. Die Gleichungen III hören auf reell zu seyn, und statt der cos und sin müssen wir imaginäre Potenzen nehmen. Wenden wir wieder die früheren Grundsätze an, so erhalten wir sehr leicht die abgeänderte Form der Gleichungen, wenn wir überall die Form $a+b\sqrt{-1}$ des Factors der periodischen Function, der die gröfste Ausbeugung angab, dadurch in die Form $a-b\sqrt{-1}$ verwandeln, dafs wir statt $\alpha_{,,}$ und α'', setzen $-\alpha_{,,}$ und $-\alpha''$, weil

hiedurch die imaginären $\sin\alpha_{,,}$ und $\sin\alpha''$ den entgegengesetzten Werth annehmen. Das Product beider Ausdrücke giebt wieder das Quadrat der Amplitude a^2+b^2, der Quotient ihrer Differenz durch ihre Summe die Tangente der Phasenänderung mit $\sqrt{-1}$ multiplicirt. Setzt man also

$$m_{,,}=\sqrt{1+\frac{\lambda^2}{\sin^2\alpha\lambda_{,,}^2}},\quad m''=\sqrt{1+\frac{\lambda}{\sin^2\alpha\lambda''^2}},$$

$$p=\frac{\operatorname{tg}(\alpha_{,,}+\alpha'')}{\sqrt{-1}}=\frac{m''-m_{,,}}{m''m_{,,}-1}$$

$$\operatorname{tg}\varphi=p\operatorname{tg}(\alpha-\alpha')\quad \operatorname{tg}\psi=p\operatorname{tg}(\alpha+\alpha'),$$

so kann man die abgeänderten Gleichungen schreiben:

$$\left.\begin{aligned}
\begin{bmatrix}\xi_{,}\\ \eta_{,}\end{bmatrix}&=\frac{\sin\varphi}{\sin\psi}\cos 2\pi\Big(\frac{-x\cos\alpha+y\sin\alpha}{\lambda}\\
&\qquad+\frac{\varphi+\psi}{2\pi}-\frac{t+\vartheta}{\tau}\Big)\begin{bmatrix}\sin\alpha\\ \cos\alpha\end{bmatrix}\\
\begin{bmatrix}\xi_{,,}\\ \eta_{,,}\end{bmatrix}&=\frac{2\cos\alpha\sin\varphi(m''^2-1)}{m''^2-m_{,,}^2}e^{\frac{2\pi x\sin\alpha m_{,,}}{\lambda}}\times\\
&\qquad\begin{bmatrix}-m_{,,}\cos\\ +\sin\end{bmatrix}2\pi\Big(\frac{y\sin\alpha}{\lambda}+\frac{\varphi}{2\pi}-\frac{t+\vartheta}{\tau}\Big)\\
\begin{bmatrix}\xi'\\ \eta'\end{bmatrix}&=\frac{\sin(\varphi+\psi)}{\sin\psi}\cdot\frac{\sin\alpha'}{\sin\alpha}\cdot\cos 2\pi\Big(\frac{x\cos\alpha'+y\sin\alpha'}{\lambda'}\\
&\qquad+\frac{\varphi}{2\pi}-\frac{t+\vartheta}{\tau}\Big)\begin{bmatrix}\sin\alpha'\\ -\cos\alpha'\end{bmatrix}\\
\begin{bmatrix}\xi''\\ \eta''\end{bmatrix}&=\frac{2\cos\alpha\sin\varphi(m_{,,}^2-1}{(m''^2-m_{,,}^2}e^{\frac{-2x\sin\alpha m''}{\lambda}}\times\\
&\qquad\begin{bmatrix}m''\cos\\ \sin\end{bmatrix}2\pi\Big(\frac{y\sin\alpha}{\lambda}+\frac{\varphi}{2\pi}-\frac{t+\vartheta}{\tau}\Big)
\end{aligned}\right\}\text{IV.}$$

Es ist leicht die Uebereinstimmung dieser Gleichungen mit den Gränzgleichungen direct nachzuweisen. Jamin hat die obige Gleichung für reflectirtes Licht durch den Versuch geprüft, und hat dabei einerseits eine überraschende Uebereinstimmung mit der Erfahrung, anderseits aber gefunden, dafs p stets sehr klein ist, dafs also der Gangunter-

schied zwischen dem in der Einfallsebene und senkrecht dazu polarisirten Lichte, oder $\varphi + \psi + 180°$, zwischen der senkrechten Incidenz und dem Polarisationswinkel fast genau 180° ist, dafs er aber beim Durchgange durch den Polarisationswinkel, wo $\operatorname{tg}\psi = p \operatorname{tg}(\alpha + \alpha')$ sehr rasch wächst, auch sehr schnell bis 270° und darüber hinaus bis beinahe 360° zunimmt, welchem Werthe er sich dann, wenn der Einfallswinkel bis zu 90° wächst, allmählich nähert. Ein schief gegen die Einfallsebene polarisirter Lichstrahl ist also ganz in Uebereinstimmung mit der Theorie nach der Reflexion nur in der Nähe des Polarisationswinkels erheblich elliptisch polarisirt, und nähert sich bei der senkrechten und parallelen Incidenz immer mehr der geradlinigen Polarisation. Die Kleinheit von p läfst auch auf die Kleinheit der Differenz von $\frac{\lambda}{l_{,,}}$ und $\frac{\lambda}{l'}$ schliefsen; setzt man also $\frac{\lambda}{l'} = t + u$ $\frac{\lambda}{l_{,,}} = t - u$, und vernachlässigt die höheren Potenzen von u, so ist

$$p = \frac{2u \sin\alpha}{t\sqrt{\sin^2\alpha + t^2}}$$

oder wenn man $\operatorname{tg} w = \frac{t}{\sin\alpha}$ setzt, $p = \frac{2u}{t}\cos w$; wo u und t constante Gröfsen sind. Da bei einigen Körpern $\varphi + \psi$ negativ ist, so folgt daraus ein negativer Werth von u; nach der Angabe Jamin's findet diefs bei den Körpern statt, deren Brechungsexponent kleiner als 1,46 ist. Cauchy hat für p den Werth $\varepsilon \sin\alpha$ gesetzt, wenn ε eine constante Gröfse ist, und hat eine ziemliche Uebereinstimmung mit der Erfahrung gefunden. Endlich zeigt ein Blick auf die obigen Gleichungen IV, dafs sie auch dann reell bleiben, wenn man die Wellenlängen $\lambda_{,,}$, λ'', statt sie imaginär zu setzen, als sehr grofs, also auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit longitudinaler Schwingungen im Verhältnifs zu der der transversalen als sehr bedeutend annimmt, so dafs dieselben schon bei äufserst geringer Abweichung von der senkrechten Incidenz durch eine Art totaler Reflexion eine Phasen-

änderung bewirken. Bei dieser Annahme bliebe nämlich alles dasselbe, ausgenommen dafs

$$m_{,,} = \sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{\sin^2\alpha\,\lambda_{,,}^2}},\quad m'' = \sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{\sin^2\alpha\,\lambda''^2}}$$

zu setzen wäre. Für p erhielte man dadurch, wenn die höheren Potenzen der sehr kleinen Verhältnisse $\frac{\lambda^2}{\lambda_{,,}^2}$ und $\frac{\lambda^2}{\lambda''^2}$ vernachlässigt würden, $p = \frac{\lambda_{,,}^2 - \lambda''^2}{\lambda_{,,}^2 + \lambda''^2}$, einen von dem Winkel α unabhängigen Werth.

Diese drei verschiedenen Voraussetzungen für den Werth von p, nämlich die oben abgeleitete $\frac{2u\sin\alpha}{t\sqrt{t^2+\sin^2\alpha}}$, die Cauchy'sche $p = \varepsilon\sin\alpha$ und die aus der wellenförmigen Fortpflanzung der longitudinalen Schwingungen gefolgerte habe ich mit den Versuchen von Jamin über den Phasenunterschied, besonders mit denen am Realgar, verglichen. Die erste gab als mittleren Fehler dieser Versuche 0,0075, die zweite 0,0080, die dritte 0,0096, indem die kleinsten Summen der Fehlerquadrate waren: 0,001604; 0,001837 und 0,002663; allerdings keine sehr entscheidende Verschiedenheit. Da aber eine bedeutende elliptische Polarisation nur bei sehr wenig verschiedenen Werthen von α eintritt, so war gar nicht zu hoffen, dafs die Abhängigkeit der Gröfse p von α sehr bestimmt hervortreten würde. Nach den Versuchen aber müssen wir wohl annehmen, dafs die erste Voraussetzung der Erfahrung am besten entspreche (für Realgar waren die wahrscheinlichsten Werthe von $\lg\left(\frac{2u}{t}\right)$: 9,2014 und von $\lg t$, freilich mit sehr grofser Unsicherheit, 0,2845), dafs die Cauchy'sche Annäherungsformel, wenn sie auch nicht als vollständig genau gelten kann, doch auch keine bedeutende Abweichung ergebe. Die Annahme, dafs p constant sey, dafs also die longitudinalen Schwingungen sich wie die tranversalen wellenförmig, nur viel schneller fortpflanzen, behält wenig Wahrscheinlichkeit; weil sie aber nicht im Stande ist, die Holtzmann'schen Versuche über die Beu-

gung zu erklären, wie wir später sehen werden, so habe ich sie ganz verwerfen zu müssen geglaubt.

Setzen wir in den Gleichungen IV $p = 0$, so wird

$$\frac{\sin\varphi}{\sin\psi} = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tg}\psi} = \frac{\operatorname{tg}(\alpha-\alpha')}{(\operatorname{tg}\alpha+\alpha')} \text{ und}$$

$$\frac{(\sin\varphi+\psi)}{\sin\psi} = \frac{\operatorname{tg}\varphi+\operatorname{tg}\psi}{\operatorname{tg}\psi} = \frac{\sin 2\alpha}{\sin(\alpha+\alpha')\cos(\alpha-\alpha')}$$

und man erhält die Gleichungen von Fresnel.

Es ist hier wohl auch der Ort, eine mehrfach ausgesprochene Meinung zu widerlegen, dafs nämlich Haughton mit Hülfe der Green'schen Bewegungsgleichungen des Aethers zu Formeln gekommen sey, welche, von den Cauchy'schen wesentlich verschieden, sich dennoch den Versuchen von Jamin ebenso genau anschliefsen. Denn erstens sind jene Formeln, wenn man von besonderen Annahmen absieht, welche abweichend von Cauchy gemacht werden, identisch mit den Cauchy'schen; zweitens aber stehen sie eben wegen jener besonderen Annahme in vollständigem Widerspruche mit den Versuchen. Die eine jener Annahmen, dafs sich die longitudinalen Schwingungen wellenförmig fortpflanzen, haben wir schon oben untersucht; die andere aber, dafs sich die Wellenlängen derselben, oder mit Cauchy zu reden, die reciproken Absorptionscoëfficienten in zwei Medien, wie die Längen der Transversalwellen verhalten, ist durchaus unhaltbar. Im Uebrigen fallen Haughton's Gleichungen vollkommen mit den obigen zusammen. Er findet nämlich [1]) als Phasenunterschied des in der Einfallsebene und senkrecht dazu polarisiten Lichtes $e_1 - e$; für cot e aber $Q\ (\mu^2 \cot i + \cot r)$; für cot e_1 — $Q\ (\mu^2 \cot i - \cot r)$; wo μ der Brechungsindex, i der Einfallswinkel, r Brechungswinkel ist; so dafs man wegen $\sin i = \mu \sin r$ auch setzen kann:

$$\operatorname{tg} e = \frac{\operatorname{tg}(i-r)}{Q(\mu^2-1)} \quad \operatorname{tg} e_1 = \frac{-\operatorname{tg}(i+r)}{Q(\mu^2-1)}.$$

Statt e und e_1 haben wir früher $180° + \varphi$ und $180° - \psi$

1) *Phil. Mag. Ser. IV, Vol. VI, p.* 81.

gesetzt; $\frac{1}{Q(\mu^2-1)}$ ist aber nach Gleichung 3) der Haughton'schen Abhandlung $\frac{\mu^2-1}{\sqrt{1-\mu^2\varepsilon^2}+\mu^2\sqrt{1-\varepsilon^2}}$ oder, wenn man den Bruch reducirt $\frac{\sqrt{1-\varepsilon^2}-\sqrt{1-\mu^2\varepsilon^2}}{1-\sqrt{1-\varepsilon^2}\sqrt{-\mu^2\varepsilon^2}}$.

ε und $\mu\varepsilon$ sind vorher als die Werthe von $\frac{c}{gl}$ und $\frac{c}{g'l}$, g und g' als die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der longitudinalen Wellen in beiden Medien d. h. als $\frac{\lambda_{\mu}}{\tau}$ und $\frac{\lambda''}{\tau}$ erklärt, aber die Verschiebung des Aethers im einfallenden Strahl, in Gleichung 7), der Kreisfunction $\sin(ax+by+ct+e)$ proportional gesetzt. Nach der Bezeichnung unserer früheren Gleichungen würden demnach ε und $\mu\varepsilon$ mit $\frac{\lambda}{\sin\alpha\lambda_{\mu}}$ und $\frac{\lambda}{\sin\alpha\lambda''}$, $\frac{1}{Q(\mu^2-1)}$ mit dem Werthe von p zusammentreffen, den wir oben unter der Annahme einer wellenförmigen Fortpflanzung der longitudinalen Schwingungen abgeleitet haben. Ich sage »sie würden damit zusammentreffen,« wenn nicht Haughton und vor ihm Green hier die weitere Annahme machten, dafs sich $\frac{c}{gl}$ und $\frac{c}{g'l}$ oder λ'' und λ_{μ} wie 1 zu μ verhalten, wodurch denn die obige Formel für p, die sonst leidlich mit den Versuchen übereinstimmt, absolut unvereinbar damit wird. Green hat nämlich wirklich, indem er die Fortpflanzungsgeschwindigkeit longitudinaler Schwingungen, welche jedenfalls sehr grofs angenommen werden mufs, unendlich, also $\varepsilon = 0$ setzte, für Q den Werth $\frac{\mu^2+1}{(\mu^2-1)^2} = 0{,}278$ berechnet. Ueber diesen Werth sagt Haughton selbst p. 83: »*A few trials convinced me that the coefficient Q, as defined by equation* (1), *would never represent the observations*« und später: »*If, instead of supposing g and g' to be infinite, we merely suppose them to be very great, compared with γ and γ,, we shall obtain expressions containing an additional constant, and which therefore can be reconciled in the most satisfactory manner with observation*«. Er leitet also einen Werth für

Q ab, der sehr gut mit den Beobachtungen übereinstimmt, nämlich $Q = 2{,}55$. Aber ein Blick auf die Formel Haughton's zeigt, dafs diese »sehr befriedigende Uebereinstimmung« nur ein Schein ist. Denn $Q = \frac{\sqrt{1-\mu\varepsilon^3+\mu^3\sqrt{1-\varepsilon^3}}}{(\mu^2-1)^2}$ erhält seinen gröfsten Werth für $\varepsilon = 0$, eben den obigen 0,278; es kann also jedenfalls nie, welchen Werth wir auch ε beilegen, gleich 2,55 werden. Es wird diefs hoffentlich genügen, um den ganzen Ausspruch von Haughton zu beseitigen, und zu zeigen, dafs nur die Cauchy'schen Formeln bis jetzt im Stande waren, die Versuche von Jamin darzustellen; nur werden wir in diesen Formeln, um die höchste Genauigkeit zu erreichen, für p nicht den Werth $\varepsilon \sin\alpha$ setzen dürfen, sondern die Gleichungen $p = v\cos w$; $\operatorname{tg} w = \frac{t}{\sin\alpha}$.

Totale Reflection.

Wird auch hier wieder $\sin\alpha' = \frac{\sin\alpha\lambda'}{\lambda}$ gröfser als die Einheit, so wird $\cos\alpha'$ imaginär und die Gleichungen IV verlieren ihre Gültigkeit. Es ist leicht, für diesen Fall, der nur bei der Reflection an einem optisch weniger dichteren Medium eintritt, die gültigen Gleichungen aufzustellen, wenn man zu den Gleichungen III zurückgeht, in denselben aber, um aus der complexen Form $a + b\sqrt{-1}$ die Form $a - b\sqrt{-1}$ zu erhalten, nicht blofs $-\alpha_{,,}$ und $-\alpha''$ statt $\alpha_{,,}$ und α'', sondern auch $180 - \alpha'$ statt α' setzt. Da das weitere Verfahren schon aus der früheren Behandlungsweise einleuchtet, so ist es wohl erlaubt, hier sogleich das Resultat hinzuschreiben. Setzt man nämlich wieder

$$m_{,,} = \sqrt{1+\frac{\lambda^2}{\sin^2\alpha l_{,,}^2}},\quad m'' = \sqrt{1+\frac{\lambda^2}{\sin^2\alpha l''^2}},\quad p = \frac{m''-m_{,,}}{m''m_{,,}-1},$$

ferner

$$m_{,} = \sqrt{1-\frac{\lambda^2}{\lambda'^2\sin^2\alpha}} \text{ und } \operatorname{tg} r = \frac{m'+p(\cos^2\alpha+m'^2\sin^2\alpha)}{(1-m'^2)\cos\alpha\sin\alpha}$$

so erhält man:

$$\left[\begin{matrix}\xi_i\\ \eta_i\end{matrix}\right] = \cos 2\pi\left(\frac{-x\cos\alpha + y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t+\vartheta}{\tau} - \frac{r}{\pi}\right)\left[\begin{matrix}\sin\alpha\\ \cos\alpha\end{matrix}\right]$$

$$\left[\begin{matrix}\xi_{ii}\\ \eta_{ii}\end{matrix}\right] = 2\,\frac{m''^2-1}{m''^2-m_{ii}^2}\cdot\frac{\cos^2\alpha + m''^2\sin^2\alpha}{1-m''^2}\,p\cdot\frac{\cos r}{\sin\alpha}\,e^{\frac{2\pi x\sin\alpha\, m_{ii}}{\lambda}} \times\left[\begin{matrix}m_{ii}\cos\\ -\sin\end{matrix}\right] 2\pi\left(\frac{y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t+\vartheta}{\tau} - \frac{r}{2\pi}\right)$$

$$\left[\begin{matrix}\xi'\\ \eta'\end{matrix}\right] = \frac{2\cos r}{\sin\alpha(1-m'^2)}\cdot e^{\frac{-2\pi x\sin\alpha\, m'}{\lambda}} \times\left[\begin{matrix}\cos\\ +m'\sin\end{matrix}\right] 2\pi\left(\frac{y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t+\vartheta}{\tau} - \frac{r}{2\pi}\right)$$

$$\left[\begin{matrix}\xi''\\ \eta''\end{matrix}\right] = 2\,\frac{m''^2-1}{m''^2-m_{ii}^2}\cdot\frac{\cos^2\alpha + m''^2\sin^2\alpha}{1-m''^2}\,p\cdot\frac{\cos r}{\sin\alpha}\,e^{\frac{-2\pi x\sin\alpha\, m''}{\lambda}} \times\left[\begin{matrix}-m''\cos\\ -\sin\end{matrix}\right] 2\pi\left(\frac{y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t+\vartheta}{\tau} - \frac{r}{2\pi}\right)$$

V.

Da ξ_i, η_i, ξ_{ii}, η_{ii} dem dichteren Medium angehören, so beziehen sich natürlich auch λ, l_{ii} auf das dichtere, λ' l' auf das dünnere Medium. Jamin hat durch Versuche den Gangunterschied zwischen dem in der Einfallsebene und senkrecht dazu polarisirten Lichte nach der totalen Reflexion untersucht, und auch hier die Theorie vollkommen bestätigt gefunden. Dieser Gangunterschied ist $2(r-\varrho)$, und führt man aus III den Werth von ϱ ein, so erhält man:

$$\operatorname{tg}(r-\varrho) = \operatorname{cotg}\alpha\left(\frac{m'+p}{1+pm'}\right)$$

oder annähernd, weil p sehr klein ist:

$$\operatorname{tg}(r-\varrho) = \operatorname{cotg}\alpha\,[m' + p(1-m'^2)]$$

nicht, wie Cauchy irrthümlich angiebt, $\operatorname{cotg}\alpha\,(m'+p)$, ein Irrthum, den schon Beer [1]) berichtigt hat.

Beugung durch ein Gitter.

Wir kommen jetzt zu dem Falle, welcher Gegenstand der Versuche von Stokes und Holtzmann und zugleich

1) Pogg. Ann. Bd. 91, S. 274.

die Veranlassung zu der gegenwärtigen Arbeit war. Cauchy hat diesen Fall nicht behandelt; es ist aber möglich, mit Hülfe der von ihm aufgestellten Grundsätze zu Gleichungen zu gelangen, die sich, wie ich in meinem vorigen Aufsatze nachgewiesen habe, den Versuchen hinreichend anschliefsen. Wir nehmen an, es komme ein ebenes Wellensystem an die Gränzfläche zweier Medien, und werde daselbst durch die gleichweit von einander abstehenden Spalten eines Gitters, welche senkrecht zur Einfallsebene seyn mögen, theilweise durchgelassen, theilweise reflectirt. Die kleinen Zwischenräume aber zwischen zwei Spalten eines Gitters, das durch Rufs, durch Einritzen etc. bewirkt seyn mag, denken wir uns der Einfachheit wegen von solcher Beschaffenheit, dafs sie das auffallende Licht weder durchlassen noch reflectiren, also vollkommen der Wahrnehmung entziehen; in Wirklichkeit könnte diefs erreicht werden, wenn sie es nach allen Richtungen dispergiren; für das gebrochene Licht würden unsere Resultate schon gelten, wenn diese Zwischenräume das auffallende Licht nicht durchlassen.

Schwingt das unter dem Winkel α einfallende Licht senkrecht zur Einfallsebene, so kann man seine Bewegung, ehe sie an das Gitter gelangt, ausdrücken, durch

$$\zeta = \cos 2\pi \left(\frac{x \cos \alpha + y \sin \alpha}{\lambda} - \frac{t + \delta}{\tau} \right)$$

Wir rechnen die y-Coordinaten von der Mitte einer der Spalten an, setzen ferner den Abstand zweier aufeinanderfolgenden Mittellinien der Spalten gleich d, die Breite eines Spaltes b, also die Breite eines Zwischenraumes $d - b$; und haben nun zu untersuchen, welche verschiedene Wellensysteme an der Gränzfläche entstehen. Betrachten wir zuerst das Licht, das durch gewöhnliche Brechung ohne Beugung erhalten wird, so ist die Amplitude des einfallenden Lichtes, welche dasselbe an der Gränzfläche veranlafst, für alle Werthe von y, welche zwischen $nd - \frac{b}{2}$ und $nd + \frac{b}{2}$ liegen, wenn n eine beliebige ganze Zahl ist, in einer Länge b der Einheit gleich, für alle Werthe zwischen $nd + \frac{b}{2}$ und

$(n+1)\,d-\frac{b}{2}$, also in einer Länge $d-b$, Null. Die Amplitude des gebrochenen Lichtes wird also in etwas gröfserer Entfernung, wenn die Höhe der Welle sich ausgeglichen hat, sich so verhalten, als wäre die Amplitude des einfallenden eine mittlere oder $\frac{b}{d}$ gewesen; im Uebrigen aber werden die Erscheinungen denselben Gesetzen folgen, die wir oben abgeleitet haben, so dafs es überflüssig scheint, hierbei zu verweilen.

Anders verhält es sich mit dem gebeugten Lichte. Man kann nämlich statt des obigen Ausdrucks für die Bewegung im einfallenden Lichte setzen:

$$\zeta = \cos 2\pi\left(\frac{x\cos\alpha+y\sin\alpha}{\lambda}-\frac{t+\vartheta}{\tau}\right)\cos.\frac{2\pi y(\sin\alpha-\sin\alpha)}{\lambda}$$
$$-\sin 2\pi\left(\frac{x\cos\alpha+y\sin\alpha}{\lambda}-\frac{t+\vartheta}{\tau}\right)\sin.\frac{2\pi y(\sin\alpha-\sin\alpha)}{\lambda}$$

Ist nun der Winkel α so beschaffen, dafs $d\,(\sin\alpha-\sin\alpha)$ ein Vielfaches von λ ist, so werden, so oft y um die Breite einer Spalte d zunimmt, die beiden Coëficienten

$$\cos.\frac{2\pi y(\sin\alpha-\sin\alpha)}{\lambda}\text{ und }\sin.\frac{2\pi y(\sin\alpha-\sin\alpha)}{\lambda}$$

dieselben Werthe erhalten; da ferner in allen Zwischenräumen das Licht aufgefangen wird, so sind diese Coëfficienten jedesmal der Null gleich zu setzen, wenn y zwischen $nd+\frac{b}{2}$ und $(n+1)\,d-\frac{b}{2}$ liegt. Als mittleren Werth desselben erhält man demnach für jede Spalte.

$$\frac{1}{d}\int_{nd-\frac{b}{2}}^{nd+\frac{b}{2}} dy\,.\cos\frac{2\pi y(\sin\alpha-\sin\alpha)}{\lambda}$$

$$\text{und }\frac{1}{d}\int_{nd-\frac{b}{2}}^{nd+\frac{b}{2}} dy\,.\sin\frac{2\pi y(\sin\alpha-\sin\alpha)}{\lambda}$$

oder $\dfrac{l \cdot \sin \cdot \frac{\pi b(\sin\alpha - \sin\alpha)}{l}}{\pi d(\sin\alpha - \sin\alpha)} = A$ und Null.

Wenn man nun in derselben Weise wie bei dem direct gebrochenen Lichte in den Werth von ζ diese mittleren Werthe einführt, so erhält man:

$$A \cos 2\pi \left(\frac{x\cos\alpha + y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t+\vartheta}{\tau} \right)$$

und sieht demnach, dafs mit dem einfallenden Lichte im zweiten Medium nicht blofs das gewöhnlich gebrochene Licht, sondern auch die Schwingungen eines gebeugten Strahles zusammenstimmen können, der mit der x-Axe einen Winkel α bildet, von der Gröfse, dafs $\frac{\sin\alpha'}{\lambda'} = \sin\frac{\alpha}{\lambda}$ und $d(\sin\alpha - \sin\alpha)$ ein Vielfaches von λ ist.

In der That folgt aus der Anwendung der Gleichungen:

$$\zeta + \zeta_1 = \zeta \qquad \frac{d\zeta}{dx} + \frac{d\zeta_1}{dx} = \frac{d\zeta'}{dx}$$

wenn man $\zeta_1 = A_1 \cos 2\pi \left(\frac{x\cos\alpha_1 + y\sin\alpha_1}{\lambda_1} - \frac{t+\vartheta_1}{\tau_1} \right)$ und $\zeta' = A' \cos 2\pi \left(\frac{x\cos\alpha' + y\sin\alpha'}{\lambda'} - \frac{t+\vartheta'}{\tau'} \right)$ setzt, dafs $\tau = \tau_1 = \tau'$, $\lambda = \lambda_1$, $\frac{\sin\alpha}{\lambda} = \frac{\sin\alpha_1}{\lambda_1} = \frac{\sin\alpha'}{\lambda'}$ und $\alpha_1 = 180 - \alpha$ seyn mufs, ferner die Gleichungen

$$A \begin{bmatrix} \cos \\ \sin \end{bmatrix} \vartheta + A_1 \begin{bmatrix} \cos \\ \sin \end{bmatrix} \vartheta_1 = A' \begin{bmatrix} \cos \\ \sin \end{bmatrix} \vartheta'$$

$$A \begin{bmatrix} \cos \\ \sin \end{bmatrix} \vartheta \frac{\cos\alpha}{\lambda} - A_1 \begin{bmatrix} \cos \\ \sin \end{bmatrix} \vartheta_1 \frac{\cos\alpha}{\lambda} = A' \begin{bmatrix} \cos \\ \sin \end{bmatrix} \vartheta' \frac{\cos\alpha'}{\lambda'}$$

und endlich $\vartheta = \vartheta_1 = \vartheta'$;

$$A_1 = A \cdot \frac{\cos\alpha \sin\alpha' - \sin\alpha\cos\alpha'}{\sin(\alpha+\alpha')}; \quad A' = A \frac{(\cos\alpha + \cos\alpha)\sin\alpha'}{\sin(\alpha+\alpha')} \qquad \text{VI.}$$

Erfolgen die Schwingungen senkrecht zur Einfallsebene, so sind die Gleichungen des einfallenden Lichtes:

$$\xi = \cos 2\pi \left(\frac{x\cos\alpha + y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t+\vartheta}{\tau} \right) \sin\alpha \text{ und}$$

$$\eta = -\cos 2\pi \left(\frac{x\cos\alpha + y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t+\vartheta}{\tau} \right) \cos\alpha.$$

Um die Beugung des Lichtes nachzuweisen, setzen wir wieder, wenn $d(\sin a - \sin\alpha)$ ein Vielfaches von λ ist, statt

$$\cos 2\pi\left(\frac{x\cos a + y\sin a}{\lambda} - \frac{t+\vartheta}{\tau}\right)$$

den mittleren Werth:

$$A\cos 2\pi\left(\frac{x\cos a + y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t+\vartheta}{\tau}\right).$$

Wegen der vier hier geltenden Bedingungsgleichungen, erhalten wir, mit Beibehaltung der früheren Bezeichnungen $\tau = \tau_{,} = \tau' = \tau_{,,} = \tau''$; $\lambda_{,} = \lambda$; $\frac{\sin\alpha}{\lambda} = \frac{\sin a}{\lambda} = \frac{\sin\alpha'}{\lambda'} = \frac{\sin\alpha_{,,}}{\lambda_{,,}} = \frac{\sin\alpha''}{\lambda''}$ und endlich

1) $$\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta A\sin a + \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,}A_{,}\sin\alpha_{,} + \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,,}A_{,,}\cos\alpha_{,,}$$
$$= \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta' A'\sin\alpha' + \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta'' A''\cos\alpha''$$

2) $$\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta A\cos a - \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,}A_{,}\cos\alpha - \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,,}A_{,,}\sin\alpha_{,,}$$
$$= \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta' A'\cos\alpha' - \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta'' A''\sin\alpha''$$

3) $$\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta A\frac{\cos a\sin a}{\lambda} - \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,}A_{,}\frac{\cos\alpha\sin\alpha}{\lambda} + \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,,}A_{,,}\frac{\cos^2\alpha_{,,}}{\lambda_{,,}}$$
$$= \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta' A'\frac{\cos\alpha'\sin\alpha'}{\lambda'} + \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta'' A''\frac{\cos^2\alpha''}{\lambda''}$$

4) $$\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta A\frac{\cos^2 a}{\lambda} + \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,}A_{,}\frac{\cos^2\alpha}{\lambda} - \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,,}A_{,,}\frac{\cos\alpha_{,,}\sin\alpha_{,,}}{\lambda_{,,}}$$
$$= \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta' A'\frac{\cos^2\alpha'}{\lambda'} - \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta'' A''\frac{\cos\alpha''\sin\alpha''}{\lambda''}.$$

1) mit $\frac{\sin\alpha}{\lambda}$ multiplicirt und zu 4) addirt, ferner 2) mit $\frac{\sin\alpha}{\lambda}$ multiplicirt und von 3) subtrahirt, giebt die Gleichungen:

$$\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta A\frac{1-(\sin a-\sin\alpha)\sin a}{\lambda} + \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta_{,}\frac{A_{,}}{\lambda_{,}} = \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta'\frac{A'}{\lambda'};$$

$$\begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta A\frac{\cos a}{\lambda}(\sin a - \sin\alpha) + \vartheta_{,,}\frac{A_{,,}}{\lambda_{,,}} = \begin{bmatrix}\cos\\ \sin\end{bmatrix}\vartheta''\frac{A''}{\lambda''}.$$

Diese hat man in 1) und 2) einzuführen, und erhält $\vartheta = \vartheta_{,} = \vartheta' = \vartheta_{,,} = \vartheta''$; zugleich aber für A' den Werth:

$$\frac{A' \sin(\alpha+\alpha')\cos(\alpha'-\alpha+\alpha_{,,}+\alpha'')}{(\cos\alpha+\cos\alpha)\sin\alpha'\cos(\alpha_{,,}+\alpha'')} = A\left[1+\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha-\alpha}{2}\right)\left(\sin\alpha\cos\alpha\right.\right.$$

$$\left.\left.+\frac{\cos\alpha\,.\,\sin\alpha_{,,}\sin\alpha''}{\sin\alpha\cos(\alpha_{,,}+\alpha'')}-\operatorname{tg}(\alpha_{,,}+\alpha'')\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha-\alpha}{2}\right)(1+\sin\alpha\sin\alpha)\right]\right.$$

Es wird hier wieder $\sin\alpha_{,,}$ und $\sin\alpha''$ imaginär, weil $\lambda_{,,} = \frac{l_{,,}}{\sqrt{-1}}$ und $\lambda'' = \frac{l''}{\sqrt{-1}}$ ist; und wie oben müssen die Kreisfunctionen durch imaginäre Potenzen ersetzt werden; gebraucht man aber die früheren Werthe von p und $\operatorname{tg}\varphi$, so ist die Intensität des gebrochenen Strahles oder i^2 durch folgende Gleichung bestimmt:

VII a) $$\frac{i^2\sin^2(\alpha'+\alpha)\cos^2(\alpha-\alpha')}{A'^2\sin^2\alpha'\cos^2\varphi\,(\cos\alpha+\cos\alpha)^2} = \left(1+\cos\alpha\sin\alpha\operatorname{tg}\frac{\alpha-\alpha}{2}\right.$$

$$\left.+\cos\alpha\sin\alpha\,\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha-\alpha}{2}\right).\frac{l_{,,}l''}{\lambda^2}\sqrt{1-p^2}\right)^2$$

$$+p^2\,\operatorname{tg}^2\left(\frac{\alpha-\alpha}{2}\right)(1+\sin\alpha\sin\alpha)^2.$$

Für die Veränderung der Phase im gebrochenen Strahle erhält man dagegen $\varphi - \chi$, wo

VII b) $$\operatorname{tg}\chi = \frac{p(1+\sin\alpha\sin\alpha)}{\operatorname{cotg}\left(\frac{\alpha-\alpha}{2}\right)+\sin\alpha\cos\alpha+\cos\alpha\sin\alpha\,\frac{l_{,,}l''}{\lambda^2}\sqrt{1-p^2}}$$

Ich halte es nicht für nöthig, auch die Gleichungen für die übrigen Wellensysteme zu entwickeln; in den obigen Gleichungen kann man aber p, welches bei allen Körpern, insbesondere beim Glase, nach den Versuchen von Jamin sehr klein ist, vernachlässigen, und erhält dann für die Veränderung der Phase Null, für die Intensität:

$$\frac{i\sin(\alpha'+\alpha)\cos(\alpha-\alpha')}{A\sin\alpha'(\cos\alpha+\cos\alpha)} = 1+\cos\alpha\sin\alpha\operatorname{tg}\frac{\alpha-\alpha}{2}$$

$$+\cos\alpha\sin\alpha\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha-\alpha}{2}\right)\frac{l_{,,}l''}{\lambda^2}.$$

Das Verhältniſs der Intensitäten des in der Einfallsebene und senkrecht dazu schwingenden Lichtes ist also, wenn man Gleichung VI vergleicht

VII c) $$\frac{i}{A'} = \frac{1 + \cos\alpha \sin\alpha \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha - \alpha}{2}\right) + \cos\alpha \sin\alpha \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha - \alpha}{2}\right) \frac{l_{,,} l''}{\lambda^2}}{\cos(\alpha - \alpha')}$$

In dieser Formel drücken $\frac{\lambda}{l_{,,}}$ und $\frac{\lambda}{l''}$ die Schnelligkeit aus, mit welcher die Intensität der longitudinalen Schwingungen bei der Entfernung von der Gränzfläche in Glas und Luft abnimmt, λ die Wellenlänge im Glase. Wir erhalten aus derselben die Gleichung des vorigen Aufsatzes für den Fall, dafs der einfallende Lichstrahl senkrecht zur Gränzfläche ist, wenn wir $\alpha = 0$ setzen:

$$\frac{i}{A_{,}} = \frac{1 + 2\sin^2 \frac{\alpha}{2} \frac{l_{,,} l''}{\lambda^2}}{\cos(\alpha - \alpha')},$$

und bildet die Schwingungsrichtung des einfallenden Lichtes mit der Ebene, welche den einfallenden und gebeugten Strahl enthält, den Winkel γ', so ist

$$\operatorname{tg}\gamma' = \frac{\operatorname{tg}\gamma \cos(\alpha - \alpha')}{1 + 2\sin^2 \frac{\alpha}{2} \frac{l_{,,} l''}{\lambda^2}}.$$

Nach der Theorie von Stokes hätte diese Gleichung heifsen müssen:

$$\operatorname{tg}\gamma' = \frac{\operatorname{tg}\gamma}{\cos\alpha},$$

was den Holtzmann'schen Versuchen widerspricht. Es ist aber bemerkenswerth, dafs in dem Falle, wo die Richtung des einfallenden Lichstrahls zwar schief gegen die Austrittsfläche, die des gebeugten aber senkrecht dazu ist, eben jenes von Stokes ausgesprochene Gesetz gilt, dafs die Schwingungsebene des gebeugten Strahles den Schwingungen des einfallenden parallel ist. Der Werth von i wird nämlich in diesem Falle $\frac{\lambda'}{\lambda + \lambda'}(1 + \cos\alpha)\cos\alpha$, der Werth von A' wird $\frac{\lambda'}{\lambda + \lambda'}(1 + \cos\alpha)$; also

$$\operatorname{tg}\gamma' = \frac{\operatorname{tg}\gamma}{\cos\alpha}.$$

Weil sich der Einflufs der longitudinalen Schwingungen bei den Beugungsversuchen geltender macht, so geben die-

selben trotz der weit geringeren Schärfe ein besseres Mittel ab, die Beschaffenheit von jenen zu untersuchen, als die Versuche, durch welche Jamin die Cauchy'schen Gleichungen bewahrheitet hat. Es ist deshalb hier zugleich Gelegenheit geboten, eine Entscheidung über die Frage zu geben, welche wir vorher, wenigstens theilweise, offen lassen mufsten, ob nämlich bei einer gegebenen Schwingungsdauer die longitudinalen Schwingungen während der Fortpflanzung eine periodische oder eine in geometrischer Progression abnehmende Bewegung zeige; analytisch ausgedrückt, ob ihre Wellenlänge reell oder imaginär sey. Wie früher bleiben die unter der zweiten Annahme erhaltenen Gleichungen auch für die erste Annahme reell; die Veränderung der Schwingungsrichtung durch die Beugung wird aber, wenn die Wellenlängen reell, gleich $\lambda_{,,}$ und λ'' sind, durch die Gleichung bestimmt:

$$\operatorname{tg}\gamma' = \operatorname{tg}\gamma \frac{\cos(\alpha-\alpha')}{2\sin^2\frac{\alpha}{2}\cdot\frac{\lambda_{,,}\lambda''}{\lambda^2}-1}.$$

Eine Vergleichung dieser Formel, in welcher nach dem Früheren $\frac{\lambda_{,,}\lambda''}{\lambda^2}$ sehr grofs angenommen werden mufs, mit den Versuchen von Holtzmann, zeigt sogleich ihre Unhaltbarkeit, und verweist uns also mit Nothwendigkeit auf die im Vorigen zu Grunde gelegte Voraussetzung über die longitudinalen Schwingungen.

Metallreflection.

Cauchy hat seine Formeln für die Reflection des Lichtes an Metallen ohne Beweis gegeben, und dieser Beweis ist seitdem nicht in genügender Weise ergänzt worden; obgleich gerade die Uebereinstimmung dieser Formeln mit Versuchen, welche Jamin angestellt hat, eine Ableitung derselben aus den allgemeinen Principien Cauchy's zu verlangen scheint, welche dadurch eine neue Stütze erhalten könnten.

Die besondere Voraussetzung, welche hier gemacht wird, ist ein unmittelbares Ergebnifs der Erfahrung, nämlich dafs

die Schwingungen des Aethers in Metallen sehr rasch abnehmen, und zwar in geometrischer Progression, da ja die Intensität derselben auf gleiche Wegstrecken sich nothwendig in gleichem Verhältnisse vermindern mufs. Daraus folgt, dafs unter den in metallischen Körpern vorhandenen Bedingungen sich solche Wellen fortpflanzen können, bei denen in einer Entfernung ϱ von einer Anfangswelle die Ausbeugung $A \cos u(\varrho - r) e^{-v\varrho}$ ist; sie werden aber nicht aufhören, jenen Bedingungen zu genügen, wenn das Gesetz ihrer Fortpflanzung noch allgemeiner durch die Formel

$$Ae^{(u+v\sqrt{-1})(\varrho-r)\sqrt{-1}} \text{ oder}$$

$$Ae^{2\pi\frac{(\varrho-r)}{\lambda}\vartheta e^{\varepsilon\sqrt{-1}}}$$

ausgesprochen werden kann. Hier ist λ die Wellenlänge in der Luft, $\vartheta \cos\varepsilon$ und $\vartheta \sin\varepsilon$ drücken für eine ebene in dem Metalle fortschreitende Welle, erzeugt durch senkrecht darauf einfallendes Licht, ersteres das Verhältnifs der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Luft und Metall, letzteres den Absorptionscoëfficienten für das Metall aus. In dem aufgestellten Gesetze, welchem alle Transversalwellen, die sich in Metallen fortpflanzen, genügen müssen, und welches von dem für durchsichtige Mittel nur dadurch verschieden ist, dafs der Brechungsexponent $\frac{\lambda}{\lambda'}$ hier durch die complexe Gröfse $\vartheta e^{\varepsilon\sqrt{-1}}$ ersetzt ist, müssen bei der Brechung ebener Wellen durch Metalle die Constanten nur noch so bestimmt werden, dafs sie an der Gränzfläche mit den übrigen Wellensystemen vermöge der Gränzbedingungen im Einklange stehen. Die longitudinalen Schwingungen werden hier keine besondere Schwierigkeit bieten, da sie ja schon in durchsichtigen Medien in geometrischer Progression abnehmen, also in Metallen höchstens eine vermehrte Absorption erfahren.

Wir sehen daraus, dafs man schneller zu den Resultaten der für diesen Fall anzustellenden Rechnung gelangen kann, wenn man die früher erhaltenen Gleichungen für die

Spiegelung und Brechung zu Hülfe nimmt, und, weil hier ganz dieselben Verhältnisse statt haben, ausgenommen, dafs der reelle Brechungsexponent hier durch die Gröfse $\vartheta e^{\varepsilon\sqrt{-1}}$ vertreten ist, diesen complexen Werth in jene Gleichungen einführt. Weil hierdurch dieselben aufhören reell zu seyn, so haben wir wieder, wie früher, die Kreisfunctionen durch imaginäre Potenzen zu ersetzen.

Nehmen wir also zuerst an, die Schwingungen erfolgen senkrecht zur Einfallsebene, so ergeben die Gleichungen I) für das reflectirte Licht, das wir hier allein untersuchen, weil sich nur auf dieses die vorhandenen Beobachtungen beziehen,

$$\zeta_i = \frac{\sin(\alpha'-\alpha)}{\sin(\alpha'+\alpha)} \cdot \cos 2\pi\left(\frac{-x\cos\alpha+y\sin\alpha}{\lambda} - \frac{t+\vartheta}{\tau}\right)$$

$\sin\alpha'$ ist hier $= \frac{\sin\alpha\lambda'}{\lambda} = \frac{\sin\alpha}{\vartheta} e^{-\varepsilon\sqrt{-1}}$ zu setzen,

$$\cos\alpha' = \sqrt{1 - \frac{\sin^2\alpha e^{-2\varepsilon\sqrt{-1}}}{\vartheta^2}} = c e^{u\sqrt{-1}}$$

wenn wir $c^2\cos 2u = 1 - \frac{\sin^2\alpha\cos 2\varepsilon}{\vartheta^2}$; $\quad c^2\sin 2u = \frac{\sin^2\alpha\sin 2\varepsilon}{\vartheta^2}$

also $\quad \cot(2u+\varepsilon) = \cot\varepsilon\cos 2\operatorname{arc\,tg}\left(\frac{\sin\alpha}{\vartheta}\right)$ annehmen.

Führt man diese Werthe in $\frac{\sin(\alpha'-\alpha)}{\sin(\alpha'+\alpha)}$ ein, so erhält man

$$m = \frac{1 - \frac{c\vartheta}{\cos\alpha} e^{(\varepsilon+u)\sqrt{-1}}}{1 + \frac{c\vartheta}{\cos\alpha} e^{(\varepsilon+u)\sqrt{-1}}}.$$

Um aus diesem complexen Ausdrucke die Intensität zu berechnen, müssen wir, analog wie früher, die Form desselben $a+b\sqrt{-1}$ dadurch in die Form $a-b\sqrt{-1}$ verwandeln, dafs wir den imaginären Gröfsen das entgegengesetzte Zeichen beilegen. Nennt man den so berechneten Ausdruck μ, so ist

$$\mu = \frac{1 - \frac{c\vartheta}{\cos\alpha} e^{-(\varepsilon+u)\sqrt{-1}}}{1 + \frac{c\vartheta}{\cos\alpha} e^{-(\varepsilon+u)\sqrt{-1}}}.$$

Die Intensität des reflectirten Lichtes I^2 ist $= m\mu$, setzen wir also $I^2 = \operatorname{tg}(f \mp 45^\circ)$, so ist:

$$\cot f = \cos(\varepsilon + u) \sin 2 \operatorname{arc\,tg}\left(\frac{\cos\alpha}{c\vartheta}\right) \quad \text{VIII}\,a.$$

Die Veränderung der Phase d wird bestimmt durch den Bogen, dessen Tangente $\frac{b}{a}$ ist, oder es ist ebenso wie früher

$$\operatorname{tg} d = \frac{m-\mu}{(m+\mu)\sqrt{-1}} = \sin(\varepsilon + u)\ \operatorname{tg} 2 \operatorname{arc\,tg}\left(\frac{\cos\alpha}{c\vartheta}\right).$$

Ebenso kann man die Gleichungen für den Fall berechnen, wo die Schwingungen in der Einfallsebene erfolgen; **Cauchy** hat jedoch auf die hier auftretenden longitudinalen Schwingungen keine Rücksicht genommen, weil ihr Einflufs auch bei durchsichtigen Körpern fast immer nur gering ist. Setzen wir also mit ihm die früher gebrauchte Gröfse $p = 0$, so haben wir in der Formel, welche wir oben (unter den Gleichungen IV) für das reflectirte Licht berechnet haben

$$\begin{bmatrix}\zeta'\\ \eta'\end{bmatrix} = \frac{\sin\varphi}{\sin\psi} \cdot \cos 2\pi\left(\frac{-x\cos\alpha + y\sin\alpha}{\lambda} + \frac{\varphi+\psi}{2\pi} - \frac{t+\vartheta}{\tau}\right)\begin{bmatrix}\cos\alpha\\ \sin\alpha\end{bmatrix}$$

φ und ψ der Null gleich zu setzen, und $\frac{\sin\varphi}{\sin\psi}$ wird $\frac{\operatorname{tg}(\alpha-\alpha')}{\operatorname{tg}(\alpha+\alpha')}$. Dieser Ausdruck für die Amplitude der Schwingungen wird wieder durch die Einführung der obigen Werthe von $\sin\alpha'$ und $\cos\alpha'$ imaginär gleich m. Wir erhalten also die Intensität I^2 des reflectirten Lichtes, wenn wir wie vorher zuerst μ aus dem imaginären Ausdrucke m ableiten; und $J^2 = m\mu$ setzen.

$$m \text{ ist} = \frac{1 - \frac{\vartheta\cos\alpha}{c} e^{(\varepsilon-u)\sqrt{-1}}}{1 + \frac{\vartheta\cos\alpha}{c} e^{(\varepsilon-u)\sqrt{-1}}}; \quad \mu = \frac{1 - \frac{\vartheta\cos\alpha}{c} e^{-(\varepsilon-u)\sqrt{-1}}}{1 + \frac{\vartheta\cos\alpha}{c} e^{-(\varepsilon-u)\sqrt{-1}}}.$$

Und setzen wir $J^2 = \operatorname{tg}(g - 45^\circ)$; die Aenderung der Phase gleich d', so ist

$$\text{VIII}\,b) \quad \cot g = \cos(\varepsilon - u) \sin 2 \operatorname{arc\,tg}\left(\frac{c}{\vartheta\cos\alpha}\right);$$

$$\operatorname{tg} d' = \frac{l}{\sqrt{-1}}\left(\frac{m-\mu}{m+\mu}\right) = \sin(\varepsilon - u) \operatorname{tg} 2 \operatorname{arc\,tg}\left(\frac{e}{\vartheta\cos\alpha}\right).$$

Diese Formeln sind mit den von Cauchy gegebenen identisch, nur ist in diesen statt $\varepsilon + u$ der Buchstabe v, statt $c\vartheta$ der Buchstabe U gebraucht; ich habe aber die obige Bezeichnung beibehalten, nicht blofs, weil man direct dazu gelangt, sondern auch, weil dadurch die Gleichungen für beide Schwingungsrichtungen symmetrischer werden.

Um endlich das Verhältnifs der Amplituden $\frac{J}{I}$ der beiden senkrecht zu einander polarisirten Lichtmassen, und den Phasenunterschied derselben $d' - d$ zu berechnen, ist es bequemer, zuerst das Verhältnifs der Amplituden für durchsichtige Mittel oder $\frac{\cos(\alpha' + \alpha)}{\cos(\alpha' - \alpha)}$ zu nehmen, und darin für $\frac{\lambda}{\lambda'}$ den complexen Werth $\vartheta e^{\varepsilon\sqrt{-1}}$ einzuführen. Hier ist:

$$m = \frac{1 - \frac{\sin^2\alpha}{c\vartheta\cos\alpha} e^{-(\varepsilon+u)\sqrt{-1}}}{1 + \frac{\sin^2\alpha}{c\vartheta\cos\alpha} e^{-(\varepsilon+u)\sqrt{-1}}}; \quad \mu = \frac{1 - \frac{\sin^2\alpha}{c\vartheta\cos\alpha} e^{(\varepsilon+u)\sqrt{-1}}}{1 + \frac{\sin^2\alpha}{c\vartheta\cos\alpha} e^{(\varepsilon+u)\sqrt{-1}}}$$

und daraus ergiebt sich das Verhältnifs der Intensität durch die Gleichung $\frac{J^2}{I} = m\mu$; der Phasenunterschied $d' - d$ durch die Gleichung $\operatorname{tg}(d' - d) = \frac{1}{\sqrt{-1}}\left(\frac{m-\mu}{m+\mu}\right)$. Setzt man also $\frac{J}{I} = \operatorname{tg} h$, so ist;

$$\cos 2h = \cos(\varepsilon + u) \sin 2 \operatorname{arc\,tg}\left(\frac{\sin^2\alpha}{c\vartheta\cos\alpha}\right);$$

$$\operatorname{tg}(d' - d) = \sin(\varepsilon + u) \operatorname{tg} 2 \operatorname{arc\,tg}\left(\frac{\sin^2\alpha}{c\vartheta\cos\alpha}\right) \quad \text{VIII } c.$$

Die Versuche von Jamin [1]) beziehen sich vorzüglich auf den Haupteinfallswinkel A, d. h. auf diejenige Incidenz, bei welcher im reflectirten Strahle der Gangunterschied $d' - d = \frac{\pi}{2}$ ist; und auf das Verhältnifs $\frac{I}{J} = \operatorname{tg} H$ für diesen Einfallswinkel, wo der Winkel H das Azimuth der durch Glimmerblättchen wiederhergestellten geradlinigen Polarisation im reflectirten Strahle ist, wenn dasselbe im einfallenden Strahle 45° gegen die Einfallsebene geneigt war.

1) Ann. de chim. et de phys. T. XXII, p. 317. (Diese Ann. Bd. 74, *S. 528).*

Da diese Versuche für mehrere Farben des Spectrums ausgeführt sind, so werde ich zum Schlusse eine Tabelle über die Werthe der Constanten ϑ und ε geben, welche ich aus denselben für die verschiedenen Metalle und die verschiedenen Farben des Spectrums berechnet habe.

Eine andere Reihe von Versuchen, welche Jamin zur Prüfung der Cauchy'schen Gleichungen auch bei anderen Einfallswinkeln über den Phasenunterschied und das Verhältnifs der Amplituden angestellt hat [1]), stimmen zwar ziemlich mit jenen Gleichungen überein, aber doch nicht mit derselben Genauigkeit, wie die Versuche an durchsichtigen Körpern. Es war eine solche Genauigkeit auch gar nicht zu erwarten, weil sich alle diese Versuche auf weifses Licht beziehen und bei verschiedenen Farben die Constanten ϑ und ε, wie die folgende Tabelle zeigt, sehr verschiedene Werthe annehmen. Ebendeshalb aber wäre es wünschenswerth, dafs die Versuche mit homogenem Lichte wiederholt würden, um in einem so wichtigen Gebiete endlich die letzte Entscheidung herbeizuführen, und die Richtigkeit der Cauchy'schen Gleichungen zu prüfen. Es wäre nämlich gar nicht unwahrscheinlich, dafs dieselben eine Aenderung erleiden müfsten, um den Versuchen zu genügen, weil möglicherweise bei der Metallreflection auch die longitudinalen Schwingungen eine Berücksichtigung verlangen könnten; es könnte die Gröfse p, welche von der Differenz der Absorptionscoëfficienten dieser Schwingungen in beiden Medien abhängt, und deshalb bei durchsichtigen Medien sehr klein ist, und sehr wenig Einflufs hat, sehr wohl in unserem Falle durch die vergröfserte Absorption in den Metallen einen merklichen Werth erhalten. Wollte man deswegen die longitudinalen Schwingungen mit in Rechnung ziehen, so wäre es am bequemsten direct von den Gleichungen III auszugehen, und darin statt $\frac{\lambda}{\lambda'}$ den Werth $\vartheta e^{\varepsilon\sqrt{-1}}$, statt $\frac{\lambda}{\lambda_{,,}}$ und $\frac{\lambda}{\lambda''}$ ihre imaginären Werthe einzuführen. Ich

1) *Ann. de chim. et de phys. T. XIX, p.* 296. Diese Ann. Erzgbd. II, S. 437.)

unterdrücke hier die dafür abgeleiteten Gleichungen, weil, für jetzt wenigstens, die Cauchy'schen Gleichungen als genügend angesehen werden können.

Was nun die Bestimmung der Constanten ϑ und ε betrifft, so läfst sich dieselbe sehr leicht mit Hülfe der obigen Gleichungen durch den von Jamin gemessenen Haupteinfallswinkel A und das Azimuth H ausführen. Ist nämlich $d' - d = 90°$, und für diesen Fall $h = H$, $\alpha = A$, so mufs $c\vartheta = \sin A \operatorname{tg} A(\varepsilon + u) = 2H$ seyn;

ferner $\frac{\operatorname{tg}(\varepsilon - u)}{\operatorname{tg}(\varepsilon + u)} = \frac{\sin 2\varepsilon - \sin 2u}{\sin 2\varepsilon + \sin 2u} = \frac{c_2^2\vartheta^2 - \sin^2 A}{c^2\vartheta^2 + \sin^2 A} = -\cos 2A.$

Hieraus kann man ε und u berechnen, ϑ aber durch die Gleichung:

$$\vartheta = \sin\alpha \sqrt{\frac{\sin 2(\varepsilon + u)}{\sin 2u}}$$

oder noch besser durch:

$$\vartheta = \operatorname{tg}\alpha \sqrt{\frac{\cos(\varepsilon + u)}{\cos(\varepsilon - u)}}.$$

		Aeußerstes Roth	Mittleres Roth	Orange	Linie *D*	Gelb	Linie *E*	Linie *Eb*	Linie *F*	Blau	Indigo	Linie *H*	Violett	Gränze des Violett
Silber	*A*	75° 45′	75° 0′	72° 48′	72° 30′	72° 15′	71° 30′	»	69° 34′	68° 11′	67° 30′	66° 12′	»	65° 0′
"	*H*	41 37	40 59	40 23	40 9	40 17	40 19	»	39 46	39 55	39 55	39 50	»	39 47
	ε	82 46	81 21	79 46	79 15	79 31	79 29	»	77 54	77 58	77 48	77 16	»	76 47
	lg ϑ	0,5676	0,5414	0,4689	0,4595	0,4516	0,4283	»	0,3703	0,3374	0,3109	0,2740	»	0,2403
Glockengut	*A*	75° 16′	74° 15′	74° 5′	73° 28′	73° 22′	72° 20′	71° 33′	71° 21′	70° 47′	70° 1′	70° 2′	70° 11′	69° 31′
	H	29 25	28 46	28 38	28 24	28 5	25 31	25 7	23 55	23 26	23 21	23 21	22 31	22 13
	ε	57 1	55 24	55 5	54 24	53 43	48 8	48 3	44 34	43 23	42 55	42 55	41 20	40 28
	lg ϑ	0,5589	0,5262	0,5211	0,5020	0,4994	0,4724	0,4507	0,4472	0,4327	0,4125	0,4130	0,4186	0,4019
Stahl	*A*	77° 52′	77° 4′	76° 37′	76° 40′	76° 26′	75° 47′	75° 41′	75° 8′	75° 23′	74° 51′	74° 32′	74° 3′	73° 19′
	H	16 20	16 29	16 33	16 48	16 50	17 30	17 31	18 29	19 10	19 38	20 7	20 26	21 12
	ε	31 29	31 37	31 39	32 9	32 10	33 19	33 19	35 9	36 28	37 14	38 6	38 35	39 52
	lg ϑ	0,6621	0,6326	0,6168	0,6183	0,6102	0,5879	0,5845	0,5659	0,5732	0,5557	0,5453	0,5301	0,5072
Zink	*A*	75° 45′	75° 11′	74° 54′	74° 27′	73° 43′	73° 28′	73° 14′	72° 32′	71° 45′	71° 24′	71° 18′	70° 49′	70° 4′
	H	15 50	17 9	18 16	18 45	20 0	21 13	21 46	22 44	23 36	24 49	25 18	25 50	26 26
	ε	30 4	32 29	34 35	35 24	37 38	39 57	40 57	42 38	44 5	46 23	47 19	48 13	49 8
	lg ϑ	0,5882	0,5687	0,5587	0,5442	0,5207	0,5117	0,5040	0,4821	0,4589	0,4471	0,4435	0,4291	0,4076
Spiegelalliage	*A*	76° 45′	76° 14′	74° 36′	74° 7′	73° 36′	73° 35′	73° 27′	73° 4′	72° 1′	71° 22′	71° 56′	71° 22′	70° 42′
	H	29 15	28 37	27 15	27 21	27 10	25 52	26 0	26 15	27 15	27 56	28 0	27 56	28 30
	ε	57 37	55 38	52 24	52 27	51 55	49 16	49 30	49 53	51 33	52 43	53 4	52 43	53 38
	lg ϑ	0,6111	0,5930	0,5393	0,5237	0,5078	0,5090	0,5048	0,4929	0,4605	0,4407	0,4568	0,4407	0,4210

		Roth	Orange	Gelb	Grün	Blau	Indigo	Violet
Kupfer	A	71° 21′	70° 0′	69° 3′	68° 44′	67° 44′	67° 30′	66° 56′
	H	28 22	26 0	21 57	18 7	16 57	16 30	15 57
	ε	53 37	48 17	39 45	32 18	29 45	28 50	27 37
	$\lg \vartheta$	0,4395	0,4067	0,3962	0,3909	0,3698	0,3654	0,3537
Messing	A	71° 31′	70° 27′	69° 38′	68° 19′	66° 11′	65° 35′	64° 16′
	H	29 40	29 3	28 25	27 0	23 23	19 57	17 38
	ε	56 23	54 41	53 2	49 30	41 12	34 22	29 31
	$\lg \vartheta$	0,4421	0,4129	0,3919	0,3604	0,3231	0,3142	0,2872

Aus dieser Tabelle ergeben sich die Werthe $\vartheta \cos \varepsilon$ und $\vartheta \sin \varepsilon$, welche für die senkrechte Incidenz das Verhältnifs der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Luft und Metall, und den Absorptionscoëfficienten in den Metallen geben. Es zeigt sich, dafs bei allen Metallen ϑ und $\vartheta \cos \varepsilon$ mit der Wellenlänge abnehmen, ganz im Gegensatz zu den durchsichtigen Körpern, in welchen der Brechungsexponent bei abnehmender Wellenlänge zunimmt.

II. *Ueber die Bahnlinien der Winde auf der sphäroïdischen Erdoberfläche;*
von Baeyer, Generalmajor v. d. Armee.

Das Spiel der Winde, wie wir es bei der ersten oberflächlichen Betrachtung beobachten, ist dergestalt verwikkelt, dafs es unmöglich erscheint, dasselbe in dieser complicirten Gestalt einer mathematischen Untersuchung zu unterwerfen, und hierin wird auch der Grund gesucht werden müssen, warum eine Construction der Bahnlinien der Winde bisher nicht gelungen, ja, so viel mir bekannt, noch nicht einmal versucht worden ist.

Der nächste Schritt zur Lösung unserer Aufgabe wird deshalb darauf zu richten seyn, die verwickelten Erscheinungen des Windes auf eine einfachere Vorstellung zurückzuführen.

Bei der täglichen Umdrehung der Erde um ihre Axe bewegt sich ein Punkt des Aequators mit einer Geschwindigkeit von 1432 par. Fufs in einer Sekunde mittlerer Zeit. Gegen die Pole hin nimmt die Rotations-Geschwindigkeit im Verhältnifs der Radien der Parallelkreise ab. In der Breite von Berlin beträgt sie nur noch 870 par. Fufs und an den Polen selbst ist sie Null.

Die Stärke unserer Stürme übersteigt wohl nicht den sechsten Theil der Rotations-Geschwindigkeit der Erde, und wenn ihre Richtung Ost oder West ist, so ist ihre Geschwindigkeit unmittelbar das Maafs des Rotations-Unterschiedes zwischen Erde und Atmosphäre. Hieraus folgt, dafs die Atmosphäre im Allgemeinen mit der Erde rotirt, dafs sie aber als freies und bewegliches Luftmeer durch ihre inneren Strömungen zeitweise der Geschwindigkeit der Erde an jedem Punkt um etwa $\frac{1}{6}$ voreilen oder auch um eben so viel dagegen zurückbleiben kann. Diefs ungleiche Rotations-Verhältnifs der Erde und der Atmosphäre ist der Grund zu den vielfach wechselnden Windrichtungen, und bietet deshalb

auch ein Mittel dar, um diese mannigfachen Richtungen umgekehrt auf die einfache Vorstellung des Rotations-Unterschiedes zurückzuführen. In Bezug auf diesen Rotations-Unterschied können wir drei Fälle unterscheiden.

1) Die Erde rotire schneller als die Atmosphäre.

2) Die Erde rotire gleichmäfsig mit der Atmosphäre.

3) Die Erde rotire langsamer als die Atmosphäre.

Diese drei Fälle kommen zwar an allen Punkten der Erde vor, wo veränderliche Windrichtungen herrschen, aber sie finden auf verschiedenen Punkten nicht gleichzeitig statt.

Nehmen wir zu diesen Rotations-Verhältnissen noch eine Südströmung und eine Nordströmung hinzu, so können wir aus diesen drei Grundbewegungen das ganze Spiel des Windes an jedem Punkt der Erde in folgender Weise zusammensetzen.

1. *Fall. Die Rotation der Erde ist an den angenommenen Punkten gröfser als die der Atmosphäre.* Findet nun keine andere Bewegung in der Luft statt, so geht die Erde in der Richtung nach Osten schneller als die Atmosphäre, die Luft bewegt sich also scheinbar in entgegengesetzter Richtung und wir haben *reinen Ostwind.* Tritt jetzt eine schwache Strömung von Norden her ein, so geht der Wind etwas nördlicher: nach ONO. Wird die Nordströmung eben so stark wie der Ostwind: nach NO, und wird die Nordströmung stärker: nach NNO. Tritt umgekehrt eine schwache Strömung von Süden zu dem Ostwinde hinzu, so geht der Wind etwas südlicher: nach OSO. Wird die Südströmung eben so stark wie der Ostwind: nach SO; wird sie stärker: nach SSO.

2. *Fall. Die Rotation der Erde ist der der Atmosphäre gleich.* Wenn keine seitliche Bewegung hinzutritt, so findet auch keine Veränderung in den gegenseitigen Lagen der Lufttheilchen in Bezug auf den angenommenen Punkt auf der Erde statt und wir haben Windstille. Tritt aber eine Bewegung von Süden ein, so haben wir reinen Südwind, kommt dieselbe dagegen von Norden: reinen Nordwind.

3. *Fall. Die Rotation der Erde ist kleiner als die der*

Atmosphäre. Findet hierbei keine seitliche Bewegung der Luft statt, so eilen die Lufttheilchen in der Ebene des Parallelkreises dem angenommenen Punkt auf der Erde voraus: wir haben also Westwind. Tritt eine schwache Bewegung aus Süden ein, so geht der Wind etwas südlicher: WSW. Wird die Südströmung eben so stark wie der Westwind: nach SW, und wird sie stärker: nach SSW. Tritt dagegen eine Nordströmung ein, die schwach ist, so geht der Wind nach WNW. Wird dieselbe eben so stark wie der Westwind: nach NW, wird sie stärker: nach NNW. Bei allen östlichen Winden ist also die Rotation der Erde *gröfser*, bei allen westlichen, *kleiner* als die der Atmosphäre.

Die obige Definition führt das ganze verwickelte Spiel des Windes an jedem beliebigen Punkte der Erdoberfläche auf drei Grundbewegungen zurück: auf eine *Nordströmung*, eine *Südströmung* und auf den *Rotations-Unterschied* der Erde und der Atmosphäre. Diese einfachere Vorstellung erleichtert nicht blofs die mathematische Behandlung der Aufgabe, sondern sie zeigt zugleich den Weg welcher einzuschlagen ist. Zählen wir die Abscissen auf dem Erdmeridian und die Ordinaten auf den Parallelkreisen, so haben wir ein Coordinatensystem, welches den Grundbewegungen in unserer Definition entspricht. Nennen wir die Rotationsgeschwindigkeit der Erde E; die der Atmosphäre A; die Stärke oder Geschwindigkeit des Winkels Q, und das Azimuth der Richtung aus welcher der Wind kommt α, dasselbe von Norden über Osten herumgezählt von 0 bis 360°, so ist das Azimuth der Richtung nach welcher der Wind hin weht $= 180^\circ + \alpha$ und wir erhalten

$$A - E = Q \sin(180 + \alpha) \ldots \quad (1)$$

$$M = Q \cos(180 + \alpha) \ldots \quad (2)$$

Die Rotations-Differenz $A - E$ ist positiv für alle westlichen Winde, negativ für alle östlichen Winde. Die Geschwindigkeit M in Richtung des Meridians ist positiv für alle südlichen Winde, negativ für alle nördlichen Winde. Für $\alpha = 0$ weht reiner Nordwind und $A - E$ wird $= 0$

und $M = -Q$. Für $\alpha = 180°$ weht reiner Südwind; $A - E$ wird $= 0$ und $M = +Q$. Bei Windstille ist $\alpha = 0$ und $Q = 0$. Die Gleichungen 1) und 2) stellen daher alle drei Fälle der Definition vollständig dar und repräsentiren das ganze Spiel der Winde an jedem beliebigen Punkt der Erde.

Wäre ein Jahrgang täglicher Beobachtungen der Richtungen und Geschwindigkeiten des Windes an einem solchen Punkte bekannt, so würde man daraus nach den Gl. 1) die Rotations-Geschwindigkeit der Atmosphäre an jedem Tage des Jahres, und nach Gl. 2) das Verhältnifs der Luftmengen, welche im Laufe des Jahres von Süden nach Norden und umgekehrt von Norden nach Süden geströmt sind, leicht bestimmen können.

Wenn einmal mehrere Jahrgänge solcher Bestimmungen und von vielen auf der ganzen Erde verbreiteten Punkten, vorliegen, dann werden wir erst Aussicht haben, durch das Auffinden der Gesetze der Luftströmungen, von denen der periodische Gang der Witterung abhängt, zu einer sicheren Grundlage für die Vorausbestimmung des Wetters zu gelangen. Vorläufig müssen wir uns damit begnügen, die Strömungen in der Luft einzeln zu betrachten und näher zu untersuchen.

Ein Lufttheilchen welches auf der ruhenden Oberfläche unseres Rotations-Sphäroïds unter einem bestimmten Winkel gegen den Meridian in Bewegung gesetzt wird, und in der ihm gegebenen Richtung seinen Weg ohne jede Hemmung und Störung unter dem allgemeinen Einflufs der Schwere fortsetzt, wird eine kürzeste Linie beschreiben. Die kürzeste Linie auf allen durch Rotation entstandenen Oberflächen hat aber die Eigenschaft, dafs auf allen Punkten ihres Weges der Abstand von der Drehungsaxe, multiplicirt in den Sinus des Azimuths, eine constante Gröfse ist. Bedeuten daher r, r', r'' . . . die im Lauf der Linie auf einander folgenden Abstände von der Drehungsaxe, und α, α', α'' . . . die entsprechenden Azimuthe, so mufs seyn:

$$r \sin \alpha = r' \sin \alpha' = r'' \sin \alpha'' \ldots\ldots$$

Der Abstand von der Drehungsaxe hat auf dem Rota-

tions-Sphäroïd unter dem Aequator sein Maximum, nimmt gegen die Pole hin ab und ist an den Polen selbst Null. Daraus folgt für die kürzeste Linie die Eigenschaft, dafs sie eine Curve doppelter Krümmung ist; wenn man von einem Meridian ausgehend, sie um die ganze Erde herum verlängert bis wieder zu demselben Meridian, so kehrt sie nicht zu dem Ausgangspunkt zurück, sondern windet sich bei fortgesetzter Verlängerung spiralförmig um den Pol herum, ohne denselben je zu erreichen. Eine Ausnahme findet statt in dem Fall, wenn $\alpha = 0$ oder $= 180^\circ$ ist.

Denken wir uns jetzt das Erdsphäroïd, aus dem betrachteten Zustand der Ruhe in Rotation versetzt, so wird das Lufttheilchen, wo es in der Richtung α in Bewegung gesetzt wird, bereits eine Bewegung im Sinne der Rotation besitzen, es kann daher auch nicht mehr eine kürzeste Linie beschreiben, sondern sein Weg wird die Abwickelung der kürzesten Linie, nach diesem ihm innewohnenden Rotations-Verhältnifs, auf der sphäroïdischen Oberfläche seyn.

Was von der kürzesten Linie selbst gilt, wird aber auch von ihrer Abwickelung gelten und zwar in einem noch verstärkterem Maafse, denn selbst in dem erwähnten Ausnahmefall wird das Lufttheilchen den Pol nicht erreichen, weil die ihm innewohnende gröfsere Rotation ihm bei der Bewegung nach Norden von vorne herein eine seitliche Abweichung mittheilt.

Ein Wind kann als eine grofse Menge von Lufttheilchen angesehen werden, welche in einer bestimmten Richtung in Bewegung sind. Die Bahnlinien der Winde sind daher die Abwickelungen der kürzesten Linien auf der späroïdischen Erdoberfläche nach dem Rotations-Verhältnifs der Erde und der Atmosphäre, wie dasselbe in den 3 Fällen der obigen Definition entwickelt worden ist. Aus den Eigenschaften der kürzesten Linie, wie wir sie dargestellt haben, können wir nun folgende Schlüsse ziehen:

1) Ein Lufttheilchen, welches einmal in einer bestimmten Richtung in Bewegung gesetzt ist, kann bei Fort-

setzung dieser Bewegung nie mehr nach seinem Ausgangspunkt zurückkehren.

2) Kein Wind aus einer namhaften Poldistanz kann nach den Polen hinwehen und folglich mufs unter den Polen im Allgemeinen Windstille herrschen.

Es könnte scheinen, als ob ein Wind durch Störungen nach den Polen gelangen könnte; allein auch dies ist nicht möglich, denn eine Störung mag beschaffen seyn wie sie wolle, so wird der Weg des Windes, nachdem dieselbe vorüber ist, eine gewisse Richtung und einen bestimmten Abstand von der Drehungsaxe haben, der nicht Null ist, und wenn dies der Fall ist, so kann er nach dem Vorhergehenden nicht nach dem Pol gelangen. Die allgmeine geometrische Natur der Curven, welche die Bahnlinien der Winde darstellen, läfst sich in folgender Weise charakterisiren.

α) Bahnlinie eines Südostwindes (nördliche Halbkugel).

Da es ein östlicher Wind ist, so ist nach dem ersten Fall unserer Definition die Rotationsgeschwindigkeit der Erde gröfser als die der Atmosphäre. Die Richtung des Windes geht nach Nordwest, er berührt daher auf seinem Wege immer nördlichere Punkte. Die Rotationsgeschwindigkeit der Erde nimmt aber in jeder nördlichen Richtung beständig ab, sie mufs daher auf einem gewissen Punkt der der Atmosphäre gleich, und darüber hinaus kleiner werden als die Rotation der Atmosphäre. Nach dem zweiten Fall der Definition kann aber da, wo die Rotation der Erde der Atmosphäre gleich ist, nur Südwind wehen (weil wir es mit einem Südost zu thun haben) und da, wo die Rotation der Erde kleiner ist als die der Atmosphäre, mufs nach dem dritten Fall der Definition, ein westlicher Wind wehen.

Die Bahn des Südostwindes führt also durch alle drei Fälle der Definition, d. h. seine Richtung geht aus der südöstlichen durch die südliche in eine südwestliche über; oder: *der Südost* kann, in nordwestlicher Richtung vorschreitend,

nur bis auf einen gewissen Punkt, *den Wendepunkt*, gegen Westen vordringen. In diesem Punkt angelangt, ist seine Richtung allmählich eine südliche geworden und über diesen Punkt hinaus wird sie eine westliche; er wendet sich also in halbkreisähnlicher Krümmung an diesem Punkt förmlich um und geht als Südwest rückwärts nach Nordost hin weiter. — Eine zweite Wendung kann er nicht machen.

Dem Südost in der nördlichen Halbkugel entspricht der Nordost in der südlichen; derselbe geht in südwestlicher Richtung bis auf einen gewissen Punkt vor, wo er nach und nach zum Nordwind geworden, biegt dann in einen westlichen Wind um und geht als Nordwest, nach Südost hin weiter.

b) Bahnlinie eines Nordwestwindes.

Da es ein westlicher Wind ist, so wird nach dem dritten Fall der Definition, die Rotationsgeschwindigkeit der Erde kleiner seyn als die der Atmosphäre, und da die Richtung nach Südosten hingeht, so wird der Nordwest auf seinem Wege immer südlicher gelegene Punkte treffen, so dafs die Rotationsgeschwindigkeit der Erde beständig wächst. Da dieselbe nun im Anfangspunkt kleiner war, als die der Erde, und immer wächst, so wird sie nach und nach dieser *gleich* und dann *gröfser* als dieselbe werden.

Da wo die Rotation der Erde der der Atmosphäre gleich ist, kann in unserem Fall nur Nordwind wehen, und da wo die Rotation der Erde gröfser ist, als die der Atmosphäre, mufs ein östlicher Wind herrschen (zweiter und erster Fall der Definition). Der Nordwest wird also in südöstlicher Richtung nur bis zu einem gewissen Punkt gegen Osten gelangen, wo er in allmählicher Wendung zum Nordwind geworden ist, dann wird er in einen östlichen Wind umsetzen und seinen Weg nach Südwest hin nehmen. — Eine ähnliche Wendung kann er zum zweiten Mal nicht machen.

Dem Nordwest in der nördlichen Halbkugel entspricht der Südwest in der südlichen. Derselbe geht bis auf einen

gewissen Punkt in nordöstlicher Richtung vor, wendet dann um und geht als Südost gegen Nordwest hin weiter.

c) Bahnlinie eines Nordostwindes.

Die Rotation der Erde ist gröfser als die der Atmosphäre (erster Fall der Definition). Der Weg des Windes führt nach Südwest hin. Die Rotation der Erde vergröfsert sich daher beständig, bleibt also immer gröfser als die der Atmosphäre; die Bahnlinie macht folglich keine Wendung; die Richtung wird nach und nach immer östlicher und die Stärke des Windes wächst mit der Länge des Weges. Dem Nordost in der nördlichen Halbkugel entspricht der Südost in der südlichen. Die Richtung desselben geht nach und nach in eine mehr östliche über und seine Stärke wächst mit der Länge des Weges.

d) Bahnlinie des Südwestwindes.

Die Rotation der Erde ist kleiner als die der Atmosphäre (dritter Fall der Definition) und nimmt in der Richtung des Windes nach Nordost hin immer mehr ab, bleibt also beständig kleiner als die der Atmosphäre. Es findet deshalb keine Wendung statt und die Richtung des Wingeht allmählich mehr nach Westen.

Dem Südwest in der nördlichen Halbkugel entspricht der Nordwest in der südlichen.

Wenn wir diese allgemeine Charakteristik der geometrischen Eigenschaften dieser Curven in die analytische Sprache übertragen, so werden wir solche Ausdrücke für die Coordinaten finden, durch welche sich die Bahnlinien der Winde Punkt vor Punkt bestimmen lassen.

Ehe ich aber zu dieser Untersuchung übergehe, will ich erst noch auf die wichtigen Verhältnisse aufmerksam machen, welche sich aus den obigen Betrachtungen für die Luftströmungen im Grofsen ergeben.

Theilen wir die Atmosphäre in der nördlichen Halbkugel, unter einer mittleren Breite, durch eine Ebene im Sinne der Rotation, welche durch den Ost- und Westpunkt geht,

in zwei gleiche Theile, so scheidet diese Ebene die nördlichen Winde von den südlichen, oder die Polar-Strömungen von den Aequatorial-Strömungen.

Die Polarströmungen, welche aus den nördlichen Winden bestehen, theilen sich wieder in die nordöstlichen im ersten Quadranten des Azimuths und in die nordwestlichen im vierten Quadranten des Azimuths.

Nach *c*) gehen die nordöstlichen Winde in der Richtung gegen Südwest hin beständig fort. Nach *b*) biegen die nordwestlichen Winde in nordöstliche um. Alle nördlichen Winde, oder die Polarströmungen setzen sich demnach in eine gemeinsame nordöstliche Richtung zusammen und bilden den *constanten Nordostpassat.*

Die Aequatorialströmungen, welche aus den südlichen Winden bestehen, theilen sich in die südöstlichen im zweiten Quadranten des Azimuths und in die südwestlichen im dritten Quadranten. Nach *d)* gehen die südwestlichen Winde in der Richtung nach Nordost hin beständig fort. Nach *a*) biegen die südöstlichen Winde in südwestliche um. Alle südlichen Winde, oder die Aequatorial-Strömungen, vereinigen sich daher zu einer südwestlichen Richtung und bilden den *constanten Südwestpassat.* Die Tracen der Bahnlinien auf dem Planiglob Taf. III Fig 2 machen dies deutlich.

Dem Nordost in der nördlichen Halbkugel entspricht der Südost in der südlichen, und dem Südwest in der nördlichen Halbkugel entspricht der Nordwest in der südlichen.

In der südlichen Halbkugel bilden daher die südlichen Winde die Polarströmung, setzen sich in eine gemeinsame südöstliche Richtung zusammen und bilden dort den *Südostpassat.* Die nördlichen Winde bilden dagegen die Aequatorial-Strömung, setzen sich in eine gemeinsame nordwestliche Richtung zusammen und bilden den Nordwestpassat der südlichen Hemisphäre.

Ein anderes Ergebnifs der oben charakterisirten Bahnlinien der Winde sind die grofsen ringförmigen Stürme, die oft mehr als hundert Meilen im Durchmesser haben. Un-

ter *a*) und *b*) ist nachgewiesen worden, dafs ein Südost in der nördlichen Halbkugel, sich halbkreisähnlich in einen Südwest, und ein Nordwest sich halbkreisähnlich in einen Nordost umbiegt. Wenn nun zwei solche Winde so zusammentreffen, dafs sich ihre halbkreisähnlichen Bewegungen zu einem vollen Kreise ergänzen, so entsteht ein ringförmiger Sturm. (Siehe die Tracen auf dem Planiglob.) In der südlichen Halbkugel wendet der Nordost sich um in einen Nordwest, der Südwest in einen Südost. Wenn daher beide so zusammentreffen, dafs ihre halbkreisähnlichen Wendungen sich zu einem ganzen Kreise ergänzen, so entstehen die ringförmigen Stürme in dieser Halbkugel.

Diese ringförmigen Stürme in beiden Hemisphären drehen sich auf der dem Aequator zugewandten Seite in einem der Rotation entgegengesetzten Sinne, d. h. in der Richtung von Ost nach West; oder was dasselbe ist: im Sinne des scheinbaren Laufes der Sonne. Bezieht man ihre drehende Bewegung auf die Pole, so geht dieselbe in der nördlichen Halbkugel von West über Nord und Ost; in der südlichen von West über Süd und Ost herum. Der bloſse Anblick der verzeichneten Bahnlinien macht dies vollkommen deutlich.

Ich werde nun, nach der geometrischen Erörterung über die Natur der Curven, zu ihrer mathematischen Bestimmung übergehen.

Rechnungsvorschriften zur Bestimmung der Coordinaten der Bahnlinien.

I. Bestimmung des Wendepunktes.

Wird die Polhöhe φ, der Radius des zugehörigen Parallelkreises r genannt, so ist aus der Geodäsie bekannt, dafs

$$r = \frac{a\cos\varphi}{\sqrt{1 - e e \sin\varphi^2}} \quad \ldots \quad (3)$$

a ist die halbe grofse Axe; e die Exentricität des Erdellipsoïds. $\log a = 6{,}5148235$ in Toisen; $\log ee = 7{,}8244104 - 10$. Da die Erde in 86400 Sekunden Sternzeit oder in 86164″,09 mittlere Zeit eine Umdrehung um ihre Axe vollendet, so

wird die Rotations-Geschwindigkeit der Erde E unter der Polhöhe φ in einer Sekunde mittlerer Zeit ausgedrückt durch die Gleichung

$$E = \frac{2r\pi}{86164{,}09} = p \cdot r \quad \ldots \quad (4)$$

$$\text{wo } p = \frac{2\pi}{86164{,}09} \text{ und } \log p = 5{,}8628535 - 10,$$

für jede andre Polhöhe φ_1 kann man leicht nach Gl. (3) den zugehörigen Radius des Parallelkreises r_1 und nach (4) die Rotations-Geschwindigkeit E_1 berechnen.

Nach Gl. (1) ist die Geschwindigkeit des Windes gleich

$$A - E = P \quad \ldots \quad (5)$$

P ist für westliche Winde positiv, für östliche negativ.

Da im Anfangspunkt E und P bekannt sind, so findet man A oder die Rotations-Geschwindigkeit der Atmosphäre, welche den Lufttheilchen im Ausgangspunkt innewohnt, und die sie der Voraussetzung gemäfs auf ihrem Wege beibehalten. A bleibt daher constant auf dem ganzen Wege des Windes, während E und damit auch P sich nach den geographischen Breiten, welche der Wind erreicht, ändern.

Wird $P=0$, so wird $E=A$, welches im Wendepunkt der Fall ist. Bezeichnet man diesen Werth von E durch E' so ist

$$\frac{E'}{p} = r' = \frac{a\cos\varphi'}{\sqrt{1 - ee\sin^2\varphi'}} \quad \ldots \quad (6)$$

wo φ' die Polhöhe des Wendepunktes ist. Durch Elimination ergiebt sich

$$\sin\varphi' = \left\{\frac{1 - \frac{r'^2}{a^2}}{1 - ee\frac{r'^2}{a^2}}\right\}^{\frac{1}{2}} \quad \ldots \quad (7)$$

Ein Wendepunkt findet jedesmal statt, wenn auf der Bahnlinie eines Windes der Rotations-Unterschied der Erde und Atmosphäre von Minus durch Null in Plus, oder umgekehrt von Plus durch Null in Minus übergeht.

Auf gleiche Weise kann man für jede zwischen E und E'

liegende Rotations-Geschwindigkeit die zugehörige Polhöhe finden.

Um die Zeit bestimmen zu können, welche der Wind gebraucht um von dem Ausgangspunkt unter der Polhöhe φ bis zu dem Parallelkreise des Wendepunktes unter der Polhöhe φ' zu gelangen, mufs die Länge des Meridianbogens zwischen diesen Polhöhen gesucht werden, die wir mit S bezeichnen wollen. Wir entlehnen aus der Geodäsie folgenden Ausdruck ($\int \varrho\, d\varphi = S$) dafür

$$(8)\quad S = \frac{8a^2b^2}{(a+b)^3}\left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180}(\varphi' - \varphi) - \beta \cos(\varphi' + \varphi)\sin(\varphi' - \varphi) + \gamma \cos 2(\varphi' + \varphi)\sin 2(\varphi' - \varphi) - \ldots\right)$$

wo $\log \frac{8a^2b^2}{(a+b)^3} = 6{,}5140946$ in Toisen; $\log \alpha = 0{,}0000027{,}4$

$\log \beta = 7{,}7009269 - 10$

$\log \frac{\pi}{180} = 82418773{,}7 - 10$ $\quad$ $\log \gamma = 4{,}7206247 - 10$

$\varphi - \varphi'$ mufs hier in Graden und Bruchtheilen derselben ausgedrückt werden. Nach Gl. (2) ist M die Geschwindigkeit des Windes in der Richtung des Meridians. Wenn man daher ermittelt, wie oft M in S enthalten sey, so findet man die gesuchte Zeit T und erhält

$$T = \frac{S}{M} \quad \ldots \quad (9)$$

In Bezug auf das Azimuth ist zu bemerken, dafs im Wendepunkt die Rotation der Erde der der Atmosphäre gleich ist. Nach dem zweiten Fall der Definition mufs daher das Azimuth der Richtung des Windes entweder 0° oder 180° (d. h. Nord oder Süd) seyn; je nachdem wir es mit einem nördlichen oder südlichen Winde zu thun haben.

Jetzt ist noch übrig den geographischen Längenunterschied des Wendepunktes zu bestimmen. Im Anfangspunkt des Windes ist nach Gl. (5) der Rotationsunterschied zwischen Erde und Atmosphäre $= P$. Im Wendepunkt ist $P = 0$ oder $A = E$. Es kommt daher darauf an, die Summe der Rotations-Unterschiede, die zwischen P und Null liegen, zu su-

suchen, den mittleren Werth derselben in Längensekunden auszudrücken und mit der Zeit T Gl. (9) zu multipliciren; so wird man den Längenunterschied erhalten, welchen der Wind vom Meridian des Anfangspunktes bis zum Meridian des Wendepunktes zurückgelegt hat.

Betrachten wir die Fläche einer Curve, welche durch die Ordinaten y_0 und y_1 und den Theil der Abscissenaxe, welchen die zugehörigen Abscissen $x_1 - x_0$ bestimmen, begränzt wird, so ist klar, dafs wir die mittleren Ordinate (y) erhalten, wenn wir die erwähnte Fläche durch $x_1 - x_0$ dividiren. Ist daher $y = f(x)$, so wird seyn

$$(y) = \frac{\int_{x_0}^{x_1} y\,dx}{x_1 - x_0} \quad \ldots\ (10)$$

In unserem oben schon definirten Coordinatensystem werden die Abscissen auf dem Meridian, die Ordinaten auf den Parallelkreisen gezählt. Wir haben daher nach Gl. 4

$$y = pr = p\,\frac{a\cos\varphi}{\sqrt{1 - ee\sin\varphi^2}}$$

Das Differential der Abscisse dx ist hier $= \varrho\,d\varphi$, wo ϱ der Krümmungsradius des Meridians $= \frac{a(1-ee)}{(1-ee\sin\varphi^2)^{\frac{3}{2}}}$; wir erhalten daher $y\,dx = \frac{p\,a^2(1-ee)\cos\varphi\,d\varphi}{(1-ee\sin\varphi^2)^2}$.

Der Nenner, nach dem binomischen Satz entwickelt, giebt

$$(1 - ee\sin\varphi^2)^{-2} = 1 + 2\,ee\sin\varphi^2 + 3\,(ee)^2\sin\varphi^4 + 4\,(ee)^3\sin\varphi^6 \ldots .$$

Wird diese Reihe mit $\cos\varphi\,d\varphi$ multiplicirt und das Integral zwischen den Gränzen φ und φ' genommen, so findet man für den Zähler in Gl. (10).

$$\int_{\varphi}^{\varphi'} \frac{\cos\varphi\,d\varphi}{(1-ee\sin\varphi^2)^2} = \sin\varphi' - \sin\varphi + \tfrac{2}{3}\,ee\,[\sin\varphi'^3 - \sin\varphi^3] + \tfrac{3}{5}(ee)^2\,[\sin\varphi'^5 - \sin\varphi^5] + \ldots$$

Der Nenner in Gl. (10) dagegen giebt $\int_{\varphi}^{\varphi'} \varrho\,d\varphi = S$ in Gl. (6).

Hieraus findet man die mittlere Rotationsgeschwindigkeit der Erde zwischen der Polhöhe φ und φ', die immer positiv seyn muſs, weshalb die gröſsere Polhöhe stets für φ' zu nehmen ist, wie folgt:

$$(11)\quad (y) = \frac{p a^2 (1-ee)}{S}\left[\sin\varphi' - \sin\varphi + \tfrac{3}{2} ee(\sin\varphi'^3 - \sin\varphi^3) + \tfrac{3}{5}(ee)^2(\sin\varphi'^5 - \sin\varphi^5) + \ldots\right]$$

wo
$$\log a^2(1-ee) = 13{,}0267386$$
$$\log \tfrac{2}{3} ee\, a^2(1-ee) = 10{,}6750577$$
$$\log \tfrac{3}{5}(ee)^2 a^2(1-ee) = 8{,}4537107$$

Setzt man $(r) = \frac{(y)}{p}$, so ist (r) der Radius des Parallelkreises, welcher der Rotationsgeschwindigkeit (y) zugehört.

Nach Gl. 5 ist $A - (y) = P$, gleich dem mittleren Rotations-Unterschied zwischen Erde und Atmosphäre, oder gleich der mittleren Geschwindigkeit des Windes in der Richtung des Parallels in einer Sek. mittl. Zeit. Durch die Multiplication mit $\frac{648000}{(r)\pi} = \frac{1}{(r)\sin 1''}$ wird diese Geschwindigkeit in Längensekunden verwandelt und wenn man durch (l) die Längensekunden bezeichnet, welche in $A - (y)$ enthalten sind, so erhält man die mittlere Geschwindigkeit des Windes in einer Zeitsekunde, in Längensekunden ausgedrückt, oder

$$(l) = \frac{A-(y)}{(r)\sin 1''},$$

und nun den Längenunterschied L, welchen der Wind in der Zeit T erreichte

$$L = (l) \cdot T \ldots \quad (12)$$

L ist hier der gesuchte Längenunterschied zwischen dem Ausgangspunkt und dem Wendepunkt.

II. Bestimmung beliebiger Punkte der Bahnlinie zwischen dem Anfangspunkt und dem Wendepunkt.

Da die Gleichung (8) allgemeine Gültigkeit hat, so kann man darnach den Bogen des Meridians vom Anfangspunkte φ bis zu jeder beliebigen Polhöhe bestimmen. Bezeichnet

man daher die Polhöhen, für welche man Punkte der Bahnlinie bestimmen will, durch φ_1, φ_2, $\varphi_3 \ldots \varphi'$, wo φ' die Polhöhe des Wendepunktes ist, und führt man dieselben in die Gl. (8) ein, so findet man die zugehörigen Meridianbögen s_1, s_{11}, $s_{111} \ldots . S$, welche vom Anfangspunkt an zählen, und wo S der Meridianbogen vom Anfangspunkt bis zum Wendepunkt ist.

Drückt man nun die Zeiten durch t_1, t_2, $t_3 \ldots . T$ aus, so ist

$$t_1 = \frac{s_1}{M}$$
$$t_2 = \frac{s_2}{M}$$
$$\vdots \qquad \vdots$$
$$T = \frac{S}{M}$$

Bezeichnet man durch y_1, y_2, $y_3 \ldots . (y)$ die mittleren Rotationsgeschwindigkeiten der Erde, zwischen den Polhöhen φ und φ_1, φ_2 u. s. w. und durch r_1, r_2, $r_3 \ldots . (r)$ die zu y_1, y_2 .... gehörigen Radien der Parallelkreise, so findet man nach Gl. (11), wenn dort successive φ_1, φ_2 φ_3 .... eingeführt werden

$$y_1 = p \cdot r_1$$
$$y_2 = p \cdot r_2$$
$$\vdots \qquad \vdots$$
$$(y) = p\,(r)$$

und hieraus die geographischen Längenunterschiede der Ordinaten wie folgt:

$$l_1 = \frac{(A - y_1)\,t_1}{r_1 \sin 1''}$$
$$l_2 = \frac{(A - y_2)\,t_2}{r_2 \sin 1''}$$
$$\vdots \qquad \vdots$$
$$L = \frac{[A - (y)]\,T}{(r) \sin 1''}$$

Um die Azimuthe an denjenigen Punkten der Bahnlinien, welche durch die Coordinaten φ_1 und l_1; φ_2 und l_2 .... bestimmt worden sind, finden zu können, müssen nach Gl. (3) die Radien der Parallelkreise für die Polhöhen φ_1, φ_2,

$\varphi_3 \ldots$ und dann nach Gl. (1) die zugehörigen Rotations-Geschwindigkeiten der Erde gesucht werden. Bezeichnet man dieselben durch e_1, e_2, $e_3 \ldots e_n$ und die Azimuthe der Richtung, aus welcher der Wind herkommt durch α_1, α_2, $\alpha_3 \ldots \alpha_n$ so ist:

$$\operatorname{tg}(180^\circ + \alpha_1) = \frac{A - e_1}{M}$$

$$\operatorname{tg}(180^\circ + \alpha_2) = \frac{A - e_2}{M}$$

$$\vdots \qquad \vdots$$

$$\operatorname{tg}(180^\circ + \alpha_n) = \frac{A - e_n}{M} = \frac{0}{M} = 0 \text{ im Wendepunkt.}$$

Da die Bewegung der Luft, der Voraussetzung gemäfs, von Süden nach Norden und umgekehrt, constant ist, so behält M stets denselben Zahlenwerth wie im Anfangspunkt.

Der Quadrant, in welchem die Tangenten liegen, wird durch die Zeichen der Quotienten bestimmt, indem der Zähler einen Sinus, der Nenner einen Cosinus repräsentirt.

$A - e_1$ ist negativ für alle östlichen, positiv für alle westlichen Winde.

M ist positiv für alle südlichen, negativ für alle nördlichen Winde.

Z. B. für einen Südostwind sind die Zeichen $\frac{-}{+}$.

Der negative Sinus als Zähler und der positive Cosinus als Nenner entsprechen dem vierten Quadranten. Wenn daher arc tg $\frac{A - e_1}{M} = N$, so liegt der Bogen im vierten Quadranten und ist $= 360 - N$. Diefs ist die Richtung, wo der Wind hingeht, daher $180^\circ + \alpha_1 = 360^\circ - N$, und hieraus folgt $\alpha_1 = 180 - N$ für die Richtung, wo der Wind herkommt. α_1 liegt daher im zweiten Quadranten.

Im Wendepunkt wird $N = 0$ daher $\alpha_n = 180^\circ$ d. h. im Wendepunkt kommt der Wind aus Süden.

III. Bestimmung beliebiger Punkte der Bahnlinie im zurückkehrenden Zweig der Curve.

Bei der Berechnung der Punkte im zurückkehrenden Zweige der Curve ist es vortheilhaft, den Wendepunkt zum Anfangs-

punkt der Coordinaten und den Meridian desselben zur Abscissenaxe zu machen und dann in analoger Weise zu rechnen wie vorhin, wobei nur darauf zu achten ist, dafs, wenn vorhin $A-y_1$; $A-y_2$ .... negativ waren, sie nun positiv seyn werden und umgekehrt. Dasselbe gilt auch von den Längenunterschieden l_1, l_2, l_3 .... Wenn z. B. der Längenunterschied des Wendepunktes im aufsteigenden Aste der Bahnlinie gleich $-L$ war, also westlich vom Anfangspunkte des Windes lag, so werden die successiven Längenunterschiede in dem zurükkehrenden Zweige der Curve, die wir L_1, L_2, L_3 .... nennen wollen, auf den Meridian des Ausgangspunktes bezogen, folgende Werthe haben:

$$L_1 = -L + l_1$$
$$L_2 = -L + l_2$$
$$\vdots \qquad \vdots$$
$$L_n = -L + l_n$$

Wenn $l_n = L$, also $L_n = 0$ wird, so schneidet die Curve den Ausgangsmeridian zum zweiten Mal.

In Betreff der Azimuthe in diesem Zweige der Curve ist zu bemerken, dafs, wenn die Rotationsgeschwindigkeiten der Erde an den bestimmten Punkten des aufsteigenden Astes der Curve gröfser waren als die der Atmosphäre, sie im niedersteigenden oder zurückkehrenden Aste kleiner seyn werden und umgekehrt. Wir erhalten daher für dieselben Bezeichnungen wie oben, wenn dort die Tangenten negativ waren, hier die Tangenten

$$\operatorname{tg}(180^\circ + \alpha_1) = \frac{A-e_1}{M}$$
$$\operatorname{tg}(180^\circ + \alpha_2) = \frac{A-e_2}{M}$$
$$\vdots \qquad \vdots$$

mit positivem Zeichen, und da das Azimuth im Wendepunkt 180°, so liegen die Winkel α_1, α_2 .... im dritten Quadranten.

Beispiele.

1. Berechnung der Polhöhe des Wendepunktes für einen OSO Wind.

Es sey gegeben:

Die Stärke des Windes $Q = 22^{\mathrm{T}}$

Die Richtung, aus welcher er kommt, $\alpha = 112^{\circ}\,30'$

Der Punkt φ, von wo aus die Bahnlinie des Windes berechnet werden soll, liege unter 8° nördl. Breite,

so findet man nach den Gl. (1) und (2).

$\log M = \log Q \cos(180^{\circ} + \alpha) = 0{,}9252624$

$\log(A - E) = \log Q \sin(180^{\circ} + \alpha) = 1{,}3080380_{n}$ ... $A - E = -20^{\mathrm{T}},3253$

Nach Gl. (3) für $\varphi = 8^{\circ}$ ist $\log r = 6{,}5106044$

$\log p = 5{,}8628535 - 10$

$\log E = 2{,}3734579$ . . . . . $+ E = 236{,}2968$

Rotations-Geschwindigkeit der Atmosphäre $A = 215{,}9715 = E'$ im Wendepunkt.

$\log E' = 2{,}3343964$

$\log p = 5{,}8628535 - 10$

$\log r' = 6{,}4715429$

$\lg \frac{r'^2}{a^2} = 9{,}9134388 - 10$ . . . $0{,}81929208$; $\lg ee \frac{r'^2}{a^2} = 7{,}7378492 - 10$ . . . $0{,}00546826$ (+1)

Zähler $1 - \frac{r'^2}{a^2} = 0{,}18070792$; Nenner $\left(1 - ee \frac{r'^2}{a^2}\right) = 0{,}99453174$

$\log \text{Zähler} = 9{,}2569782 - 10$

$\log \text{Nenner} = 9{,}9976187 - 10$

$\log \sin \varphi'^2 = 9{,}2593595 - 10$

$\log \sin \varphi' = 9{,}6296798 - 10 \ldots\ \varphi' = 25^\circ\ 13'\ 50'',76$

gleich der Polhöhe des Wendepunktes. Wir wollen φ' in runder Zahl $= 25^\circ\ 14'$ setzen.

2. Berechnung der Zeit, welche der Wind gebraucht, um bis zu dem Parallel des Wendepunktes zu gelangen.

Im Ausgangspunkt war $\varphi = 8^\circ$

Im Wendepunkt $\varphi' = 25\ \ 14'$

$\varphi' - \varphi = 17^\circ\ 14'$; $2(\varphi' - \varphi) = 34^\circ\ 28'$; $\varphi' - \varphi = 17^\circ{,}23333\ldots$

$\varphi' + \varphi = 33^\circ\ 14'$; $2(\varphi' + \varphi) = 66\ \ 28'$

Nach Gl. (8)	$\log(\varphi' - \varphi) = 1{,}2363692$	$\log \cos(\varphi' + \varphi) = 9{,}9224377$	$\log \cos 2(\varphi' + \varphi) = 9{,}60128$
$\log \frac{\pi}{180}$	$= 8{,}2418774$	$\log \sin(\varphi' - \varphi) = 9{,}4716785$	$\log \sin 2(\varphi' - \varphi) = 9{,}75276$
$\log \alpha$	$= 0{,}0000027$	$\log \beta = 7{,}7009269$	$\log \gamma = 4{,}72062$
$\log \frac{8a^2b^2}{(a+b^3)}$	$= 6{,}5140946$	$6{,}5140946$	$6{,}51409$
	$5{,}9923439$	$3{,}6091377$	$0{,}58875$
	$982525^T{,}7$	$-4065^T{,}7$	$+3^T{,}9$
	$-4061{,}8$		
	$S = 978463{,}9$	$\log S = 5{,}9905448$	
		$\log M = 0{,}9252624$	
		$\log T = 5{,}0652824\ldots$	$T = 116220'' = 32^{St}\ 17^M$

3. Berechnung der geographischen Länge des Wendepunktes.

Nach Gl. (11) $\log a^2(1-ee) = 13{,}0267386$

$\log S = 5{,}9905448$

$\log \frac{a^2(1-ee)}{S} = \log N = 7{,}0361938 \qquad \varphi' = 25^\circ\,14'; \quad \varphi = 8^\circ$

$\log \sin(25^\circ\,14') = 9{,}6297211 - 10 \qquad \log \sin \varphi'^3 = 8{,}8891633 - 10 \qquad \log \sin \varphi'^5 = 8{,}1486055 - 10$

$\log \sin \varphi = 9{,}1435553 - 10 \qquad \log \sin \varphi^3 = 7{,}4306659 - 10 \qquad \log \sin \varphi^5 = 5{,}7177765 - 10$

$\log \frac{2}{3} ee N = 4{,}6845129 \qquad \log \frac{3}{5}(ee)^2 N = 2{,}46317$

$N \sin \varphi' =$	$4633561{,}3$	$\frac{2}{3} ee N \sin \varphi'^3 =$	$3746{,}93$
$N \sin \varphi =$	$-\ 1512687{,}1$	$\frac{2}{3} ee N \sin \varphi^3 =$	$-\ 139{,}37$
	$3120874{,}2$		$+\ 3616{,}56$
	$+\ 3620{,}6$		
$(r) =$	$3124494{,}8$		

$\frac{3}{5}(ee)^2 N \sin \varphi'^5 =$	$4{,}09$		
$\frac{3}{5}(ee)^2 N \sin \varphi^5 =$	$-\ 0{,}02$		
	$+\ 4{,}07$		

$\log (r) = 6{,}4947798$

$\log p = 5{,}8628535 - 10 \qquad A = 215{,}9715$

$\log (y) = 2{,}3576333 \ \ldots\ldots\ (y) = 227{,}8417$

$A - (y) = -\ 11{,}8702$

$\log A - (y) = 1{,}0743580$

$\log \frac{1}{(r)} = 3{,}5052202$

$\log \frac{1}{\sin 1''} = 5{,}3144251$

$\log T = 5{,}0652824$

$\log L = 4{,}9593857 \ \ldots\ L = 91072'' = 25^\circ\,17'\,52''$ Längenunterschied zwischen dem Ausgangspunkt und dem Wendepunkt.

Die geographischen Coordinaten des Wendepunktes sind daher

nach No. 1. Breite $= 25^\circ\ 14'$
Längenunterschied $= 25^\circ\ 17',9.$

4. Berechnung des Azimuthes der Windrichtung im Wendepunkt.

Zur Bestimmung des Azimuths haben wir oben unter II. die Gleichung

$$\text{tg}\,(180 + \alpha_n) = \frac{A - e_n}{M}$$

e_n ist die Rotationsgeschwindigkeit der Erde und im Wendepunkt der Rotationsgeschwindigkeit der Atmosphäre gleich. Daher ist $A - e_n = 0$. Da es ein östlicher Wind ist, so war vor dem Wendepunkt $A - e_{n-1}$ negativ; der Nenner M ist positiv. Die Tangente $(180 + \alpha)$ gehört daher in diesem Falle einem Bogen im vierten Quadranten an. Daraus folgt für $A - e_n = 0$

$$180^\circ + \alpha_n = 360^\circ$$

sogleich $\alpha_n = 180^\circ$, und dieſs ist das Azimuth der Richtung, wo der Wind herkommt. In unserem Beispiel weht daher im Wendepunkt der Wind aus Süden.

5. Bestimmung des Azimuthes eines Nord-Nord-Ost-Windes (Tabelle IV.)

auf dem Punkt seiner Bahn, dessen

Coordinaten { Breite $\varphi = 24^\circ$ nördl. Breite
Längenunterschied $= -10^\circ\ 38',3$

gegeben sind.

Für $\varphi = 24^\circ$ ist die Rotation der Erde

$$e_{10} = 218^T,10$$
$$A = 189,601$$
$$A - e_{10} = -28,499 \ldots \log 1,4548296_n$$
$$\log M = 1,3080380_n$$
$$\log \text{tg}\,(180^\circ + \alpha_{10}) = 0,1467916.$$

Da Zähler und Nenner negativ sind, so liegt der Bogen im dritten Quadranten, daher

$$180^\circ + \alpha_{10} = 234^\circ\ 30'\ 13'',4$$
$$-\ 180$$
$$\alpha_{10} = \ 54^\circ\ 30'\ 13'',4$$

gleich dem Azimuth der Richtung, wo der Wind herkommt.

Nach dieser Erläuterung durch Beispiele wird sich die Berechnung der Coordinaten der Bahnlinien der Winde vollständig übersehen lassen und keine Schwierigkeit mehr darbieten.

In den nachfolgenden Tabellen finden sich die berechneten Coordinaten von vier Winden der nördlichen Halbkugel in den vier Quadranten des Azimuths zusammengestellt, wobei zu bemerken.

1) Dafs die Stärke des Windes im Anfangspunkt überall gleich 22^{T} in der Sekunde angenommen ist.

2) Sind über jeder Tabelle die Polhöhe des Anfangspunktes, das Azimuth, der Werth von M, und die Rotationsgeschwindigkeit der Atmosphäre angegeben. $A-E$ und M wurden nach den Gleichungen (1) und (2) berechnet, und durch Bestimmung von E nach Gl. (4) ist dann A gefunden.

Tabelle I.

Bahnlinie eines OSO-Windes.

Anfangspunkt unter 8° nördl. Breite, Azimuth $\alpha = 112^\circ 30$
$A = 215^{\mathrm{T}},9715$; $\log M = 0{,}9252624$.

Coordinaten		Azimuth	Zeit in St., M. u. S.	Bemerkungen
Breite	Längenunterschied			
8°	0°	112° 30′	0h 0′ 0″	
9	— 2° 23′,2	113 7	1 52 20	
10	— 4 42,5	113 51	3 44 39	
11	— 6 56,9	114 43	5 37 0	
12	— 9 6,1	115 45	7 29 20	
13	— 11 9,5	116 57	9 21 41	
14	— 13 6,8	118 21	11 14 3	
15	— 14 56,2	120 2	13 6 30	
16	— 16 40,6	122 3	14 58 48	
17	— 18 16,1	124 26	16 51 11	
18	— 19 43,4	127 21	18 43 36	

Coordinaten		Azimuth	Zeit in St., M. u. S.	Bemerkungen
Breite	Längenunterschied			
19°	− 20° 58′,9	130° 54′	20h 36′ 0″	
20	− 22 11,4	135 16	22 28 26	
21	− 23 10,1	140 42	24 20 52	
22	− 23 58,8	147 28	26 13 39	
23	− 24 36,5	155 49	28 5 45	
24	− 25 2,9	165 48	29 58 16	
25	− 25 17,1	177 13	31 50 45	
25° 14′	− 25 17,9	180 0	32 17 1	Wendepunkt
26	− 25 13,8	189 15	33 43 17	
27	− 24 55,6	200 56	35 35 48	
28	− 24 22,1	211 24	37 28 20	
29	− 23 33,3	220 11	39 20 54	
30	− 22 27,7	227 25	41 13 28	
31	− 21 4,7	233 13	43 6 3	
32	− 19 23,7	237 55	44 58 40	
33	− 17 23,8	241 44	46 51 17	
34	− 15 4,1	244 52	48 43 56	
35	− 12 23,8	247 29	50 36 36	
36	− 9 19,8	249 40	52 29 17	
37	− 5 57,9	251 31	54 21 58	
38	− 2 10,5	253 6	56 14 41	
39	+ 2 21,7	254 28	58 7 26	
40	+ 4 58,8	255 40	60 0 13	

Dem OSO in der nördlichen Halbkugel entspricht der ONO in der südlichen. Wir können daher die obigen Coordinaten auch auf einem ONO in der südlichen Halbkugel anwenden mit folgenden Abänderungen.

1) Die Breiten (Abscissen) werden positiv; die Längenunterschiede behalten dagegen ihr Zeichen bei.

2) Das Azimuth α des ONO ist im Anfangspunkt $= 67° 30'$ und nimmt eben so ab, wie es oben zunimmt, bis es im Wendepunkt Null geworden. Man erhält die Azimuthe dadurch, dafs man die obigen von 180° abzieht; z. B. $180 - (112° + 30') = 67° 30'$; $180° - (255° 40') = - (75° 48') = 284° 20'$.

Tabelle II.

Bahnlinie eines WNW-Windes.

Anfangspunkt unter 34° nördl. Breite; Azimuth $\alpha = 292° 30'$
$A = 218^{r},3473$; $\log M = 0{,}9252624$.

Coordinaten		Azimuth	Zeit in			Bemerkung.
Breite	Längenunterschied		St.	M.	S.	
34°	+ 0	292° 30′	0	0	0	
33	+ 2° 43′,2	295 1	1	52	39	
32	+ 5 5,3	298 2	3	45	16	
31	+ 6 7,4	301 41	5	37	53	
30	+ 8 50,4	306 7	7	30	28	
29	+ 10 15,0	311 35	9	23	2	
28	+ 11 22,2	318 14	11	15	36	
27	+ 12 12,8	326 23	13	8	8	
26	+ 12 47,5	336 0	15	0	40	
25	+ 13 7,7	346 51	16	53	10	
24	+ 13 11,5	358 19	18	45	40	
23° 51′	+ 13 12,1	360 0	19	2	32	Wendepunkt
23	+ 13 7,5	9 27	20	38	8	
22	+ 12 50,6	19 34	22	20	36	
21	+ 12 21,9	28 12	24	23	3	
20	+ 11 42,1	35 19	26	15	10	
19	+ 10 51,8	41 6	28	7	55	
18	+ 9 51,5	45 47	30	0	20	
17	+ 8 42,0	49 38	31	52	44	
16	+ 7 23,7	52 45	33	45	5	
15	+ 5 57,3	55 21	35	37	30	
14	+ 4 23,3	57 31	37	29	52	
13	+ 2 42,3	59 18	39	22	14	
12	+ 0 54,8	60 50	41	14	35	
11	− 0 58,6	62 7	43	6	56	
10	− 2 57,4	63 12	44	59	16	

Dem WNW in der nördlichen Halbkugel entspricht der WSW in der südlichen mit folgenden Abänderungen: Die Breiten werden negativ; die Längenunterschiede behalten ihre Zahlenwerthe und Zeichen bei. Die Azimuthe findet man, wenn die obigen von 540° abgezogen werden; z. B. im Anfangspunkt des WSW ist $\alpha = 540° - (292° 30'$; im Wendepunkt $540° - 360 = 180°$ u. s. w. Ueber den Wendepunkt hinaus findet der Abzug von 180° statt.

Tabelle III.

Bahnlinie eines SSW-Windes.

Anfangspunkt unter 8° nördl. Breite; Azimuth $\alpha = 202° 30'$
$A = 244^{T},7190$; $\log M = 1{,}3080380$.

Coordinaten		Azimuth	Zeit in		
Breite	Längenunterschied		St.	M.	S.
8°	0° 0′	202° 30′	0	0	0
9	+ 0 25,9	203 57	0	46	30
10	+ 0 53,7	205 32	1	33	3
11	+ 1 23,8	207 14	2	19	35
12	+ 1 56,3	209 3	3	6	7
13	+ 2 31,6	210 57	3	52	40
14	+ 3 9,7	212 54	4	39	12
15	+ 3 51,6	214 55	5	25	47
16	+ 4 35,7	216 58	6	12	18
17	+ 5 24,1	219 1	6	58	51
18	+ 6 16,4	221 5	7	45	24
19	+ 7 12,8	223 7	8	31	58
20	+ 8 13,4	225 7	9	18	32
21	+ 9 19,0	227 5	10	5	7
22	+ 10 29,4	229 0	10	51	41
23	+ 11 45,0	230 51	11	38	16
24	+ 13 6,2	232 38	12	24	52
25	+ 14 32,5	234 21	13	11	28
26	+ 16 5,7	235 59	13	58	4
27	+ 17 44,7	237 33	14	44	40
28	+ 19 30,7	239 3	15	31	17
29	+ 21 23,1	240 27	16	17	55
30	+ 23 22,6	241 48	17	4	32
31	+ 25 30,2	243 4	17	51	11
32	+ 27 45,4	244 16	18	37	49
33	+ 30 8,7	245 24	19	24	28
34	+ 32 40,6	246 29	20	11	8

Dem SSW in der nördlichen Halbkugel entspricht der NNW in der südlichen mit dem Unterschied, dafs die Coordinaten folgende Abänderungen erleiden.

Die Breiten werden negativ; die Längenunterschiede bleiben unverändert und die Azimuthe werden gefunden, wenn die obigen von 540° abgezogen werden. Bemerkenswerth ist, dafs die entsprechenden Bahnlinien in beiden Halbkugeln gegen den Aequator symmetrisch liegen.

Tabelle IV.

Bahnlinie eines NNO-Windes.

Anfangspunkt unter 34° nördl. Breite. Azimuth $\alpha = 22° 30'$ $A = 189^{r},601$; $\log M = 1{,}3080380$.

Coordinaten		Azimuth	Zeit in		
Breite	Längenunterschied		St.	M.	S.
34°	0° 0'	22° 30'	0	0	0
33	— 0 33,7	27 47	0	46	40
32	— 1 15,0	32 29	1	33	19
31	— 2 3,4	36 38	2	19	57
30	— 2 58,7	40 16	3	6	35
29	— 4 0,6	43 27	3	53	13
28	— 5 8,8	46 15	4	39	51
27	— 6 22,9	48 43	5	26	27
26	— 7 42,7	50 53	6	13	4
25	— 9 7,7	52 48	6	59	40
24	— 10 38,3	54 30	7	46	16
23	— 12 13,5	56 1	8	32	51
22	— 13 53,3	57 22	9	19	26
21	— 15 37,5	58 34	10	6	1
20	— 17 25,8	59 39	10	52	36
19	— 19 18,0	60 37	11	39	10
18	— 21 13,8	61 29	12	25	43
17	— 23 13,1	62 15	13	12	17
16	— 25 15,5	62 58	13	58	50
15	— 27 20,9	63 35	14	45	23
14	— 29 29,0	64 9	15	31	56
13	— 31 39,7	64 40	16	18	28
12	— 33 52,7	65 7	17	5	0
11	— 36 7,8	65 32	17	51	33
10	— 38 24,9	65 53	18	38	5

Dem NNO in der nördlichen Halbkugel entspricht der SSO in der südlichen, dessen Coordinaten man dadurch erhält, dafs man die Azimuthe von 180° abzieht, den Breiten das negative Zeichen giebt und die Längenunterschiede unverändert beibehält.

Nach diesen in den vorangehenden vier Tabellen beispielsweise berechneten Coordinaten der Bahnlinien von vier Winden in der nördlichen Hemisphäre, die sich zugleich auch (wie unter jeder Tabelle angegeben) leicht in die Coordinaten der vier entsprechenden Winde in der

südlichen Halbkugel umformen lassen, sind auf dem Planiglob Taf. III Fig. 2 die Bahnlinie von acht Winden verzeichnet, welche das allgemeine Gesetz der Polar- und Aequatorial-Strömungen graphisch veranschaulichen, wobei man sich die ersteren (die Polar-Strömungen) unten an der Oberfläche der Erde gegen den Aequator hin, die letzteren oben als Rückströmungen nach den Polen hin, vorzustellen hat.

Die Polar-Strömungen werden durch die steigende Wärme in den südlichen Breiten an Volumen vergröfsert und gehoben; die Aequatorial-Strömungen erleiden umgekehrt durch die Abkühlung in nördlicheren Breiten eine Volum-Verminderung und senken sich immer mehr und mehr bis sie zuletzt als Polar-Strömung an der Oberfläche der Erde wieder zum Aequator, oder bis zu einer Zone der Windstillen, zurükkehren.

In den Zonen der Windstillen, welche sich in der Nähe des Aequators und der Wendekreise befinden, mufs, nach 2) der Eingangs gegebenen Definition, die Rotationsgeschwindigkeit der Atmosphäre der der Erde gleich seyn.

Die Zonen der Windstillen sind daher gewissermafsen als die Regulatoren anzusehen, welche daselbst die Geschwindigkeit der Atmosphäre an die der Erde und dadurch die Geschwindigkeit der Stürme so regeln, dafs sie ein gewisses Maafs nicht überschreiten können.

Die Zonen der Windstillen sind daher als Stauungen durch Gegenströme zu betrachten, die ihrer Natur nach nicht an einen festen Ort, wie die Windstillen an den Polen gebunden sind; sie können sich bald südlicher, bald nördlicher schieben und bei erheblichen Ungleichheiten der Gegenströme zeitweise auch wohl ganz verschwinden. Jede Zone der Windstillen bildet aber an der Stelle und so weit wie sie ohne Unterbrechung besteht eine Gränze für die Luftströme; kein Wind kann über die Windstillen hinweg oder gar hindurchgehen und es können von ihnen aus nur Rükströmungen oben in der Höhe stattfinden. — Die hier beispielsweise berechneten und tracirten Bahnlinien der Winde sind in diesem Sinne aufzufassen. Eben so haben

selbstverständlich, bei der Berechnung alle möglichen aber unbekannten Ursachen, welche in der Wirklichkeit die Geschwindigkeit modificiren, als Reibung an der Erdoberfläche, localer Widerstand, Temperatur-Veränderung u. s. w. unberücksichtigt bleiben müssen.

IV. *Ueber den hydraulischen Druck von Wasser, welches zwischen zwei Platten unter Wasser ausströmt; von Theodor Reishaus, stud. math.*

Im Winter von 1857 zu 58 unternahm ich, angeregt durch den Hrn. Prof. Schönemann und unterstützt durch Hrn. Prof. Knoblauch, der mir mit aufserordentlicher Freundlichkeit Hülfsmittel jeglicher Art bot, folgende hydraulische Versuche.

Auf der Brücke *B* (Fig 1 Taf. IV) der Schönemann'schen Brückenwaage war der Apparat festgeschraubt, den ich bei den Versuchen immer den »*Abfänger*« genannt habe. Dieser Abfänger besteht zunächst in dem Gestell *G*, welches die Säule *a* trägt, an der sich der eiserne Querbalken *b* mittels der Hülse *c* auf und niederschieben kann. Die Hülse *c* wird vermöge einer Metallfeder, die sich in derselben befindet, an *a* angedrückt und kann nöthigenfalls durch die Schraube *d* festgeschraubt werden. Der eiserne Querbalken *b* trägt an dem anderen Ende eine zweite Hülse *e*, in der sich ein unten rechtwinklig gebogener Metallstab *k* auf- und niederschieben läfst. Dieser Stab wird ebenfalls durch eine Feder in *e* gehalten und kann durch die Schraube *l* befestigt werden. Der horizontale Arm desselben trägt eine verticale Schraube, auf welche die Messingplatte *m* geschraubt wird. Das Rohr *R*, welches aufserhalb der Waage irgend wie festgemacht ist, trägt eine zweite Platte *n*. Beide Platten *m* und *n*, haben gleichen Durchmesser (in meinen Ver-

suchen 4 Zoll), befinden sich in dem mit Wasser gefüllten Gefäfse *A* und können durch die Verschiebung des Messingstabes *k* einander beliebig nahe gebracht werden. Das Rohr *R* führt Wasser von constanter Druckhöhe zwischen die beiden Platten.

Jede Wirkung, welche auf die Platte *m* ausgeübt wurde, konnte ich auf diese Weise an der Scale der Waage ablesen und in Gewichten ausdrücken, und es war mir auf diese Weise möglich, den Druck des zwischen den beiden Platten ausfliefsenden Wassers zu bestimmen.

Mit dieser Vorrichtung beobachtete ich nun folgende Erscheinungen.

Im Anfange, als ich eine nur geringe Druckhöhe, von etwa 6 Zollen, anwandte, und die Oeffnung *o* (Fig 1 Taf. IV) der Platte *n* vertical war, bemerkte ich allerdings keine Anziehung der Platte *m*; allein der Stofs, welchen der aus *o* ausfliefsende Wasserstrahl, ohne Vorhandenseyn der Platte *n*, auf die Platte *m* ausübte, wurde durch die Anwesenheit der Platte *n* um ein Bedeutendes verringert. Ich fand nämlich bei einer kreisförmigen Ausflufsöffnung *o*, deren Durchmesser $\frac{1}{8}$ Zoll war, ohne die Platte *n*, dafs der Stofs des Wassers gegen die Platte *m* etwas über $\frac{1}{10}$ Loth betrug, während die Anwesenheit der Platte *n* denselben bei gehöriger Annäherung der Platten auf $\frac{1}{30}$ Loth verminderte.

Um nun den Stofs des Wassers gegen die Platte *m* zu vermeiden oder wenigstens zu verringern, brachte ich in der Oeffnung *o* einen kleinen Kegel an, wie aus (Fig. 2 Taf. IV) deutlich wird.

Bei dieser Einrichtung fand ich, dafs wenn die Platten um $\frac{1}{8}$ Zoll von einander abstanden, eine Anziehung derselben von etwa $\frac{1}{10}$ Loth stattfand; entfernte ich die Platten mehr und mehr, so wurde die Anziehung immer geringer und ward Null bei einer Entfernung der Platten um $\frac{1}{2}$ Zoll.

Um dem Wasser eine gröfsere Geschwindigkeit zu geben, bediente ich mich ferner einer Druckhöhe von 28 Zollen. Bei dieser Druckhöhe war es unnöthig, die Platte mit dem Kegel (Fig. 2 Taf. IV) anzuwenden; denn die Platte

mit verticalem Ausfluſs (Fig. 2 Taf. IV) gab selbst in ziemlich groſser Entfernung beider Platten eine bedeutende Anziehung.

Ich fand nämlich, indem die Platte *n* 15 Zoll unter dem Niveau des Wassers im Gefäſse *A* (Fig 1 Taf. IV) sich befand, und *m* von *n* um $\frac{1}{6}$ Zoll abstand, eine Anziehung von etwas über . . . . . 0,5 Loth;

bei einem	Abstande	beider	Platten	um	$\frac{2}{6}$	Zoll:	0,35	»
»	»	»	»	»	$\frac{3}{6}$	»	0,23	»
»	»	»	»	»	$\frac{4}{6}$	»	0,16	»
»	»	»	»	»	$\frac{5}{16}$	»	0,07	»
»	»	»	»	»	$\frac{5}{6}$	»	0, 0	»

Ging ich über diese Entfernung hinaus, so erhielt ich keine Anziehung mehr, sondern einen Stoſs, der immer gröſser wurde, je weiter ich die Platten von einander entfernte. Erst in einer Entfernung um $\frac{5}{4}$ Zoll war der Stoſs auf die Platte *m* eben so groſs, wie wenn die obere Platte *n* garnicht vorhanden gewesen wäre.

Zu diesen Auseinandersetzungen habe ich noch hinzuzufügen, daſs beim Beginn eines jeden Experiments, d. h. also, wenn das Wasser im Rohre *R* sich eben in Bewegung gesetzt hatte, ein Steigen der Zunge der Waage bemerkbar wurde, welches anzeigt, daſs die Platte *m* herunterging, sich also von *n* entfernte; erst nach Verlauf einer kurzen Zeit traten die oben angegebenen Erscheinungen ein, die aber dann während eines jeden Versuches constant waren.

Ich bin nun freilich nicht im Stande, eine erschöpfende Erklärung der genannten Erscheinungen zu geben, da der hier stattfindende Vorgang ein sehr zusammengesetzter ist und noch manche Dunkelheiten enthält, deren Aufklärung uns manche wichtige Eigenschaft des Flüssigen kennen lehren würde. Indessen liegen einige Gedanken, die zu der Erklärung der merkwürdigen Erscheinungen führen, ziemlich nahe.

Wir wollen zu dem Ende voraussetzen, das Wasser erführe keine Reibung an den Wänden des Rohres *R*, noch irgend ein anderes Hinderniſs, bis es zwischen die Platten

gelangt. Diese Voraussetzung dürfen wir machen; denn die Hindernisse würden gerade dieselbe Wirkung haben, als eine Verringerung der Druckhöhe. Wir wollen uns ferner vor der Hand den Stofs des aus der Oeffnung *o* (Fig. 2 Taf. IV) mit bedeutender senkrechter Geschwindigkeit ausfliefsenden Wassers gegen die Platte *m* wegdenken, und wollen endlich, wozu wir vielleicht am wenigsten berechtigt sind, annehmen, dafs die Bewegung des Wassers zwischen den beiden Platten der Hypothese vom Parallelismus der Schichten genüge, d. h., dafs eine Wasserschicht, welche in einem bestimmten Augenblicke einen mit dem Rande concentrischen Cylinderring bildet, nach einiger Zeit einen weiteren aber immer noch mit dem Rande concentrischen Cylinderring bilde, so dafs wir also in allen Theilen eines und desselben Cylinderringes eine und dieselbe Geschwindigkeit setzen können. Unter diesen Voraussetzungen dürfte eine Erklärung der Erscheinung der Anziehung leicht zu geben seyn.

Befindet sich nämlich in einem Gefäfse Wasser in Bewegung, indem durch eine Oeffnung Wasser abfliefst, und nehmen wir an, dafs das Niveau immer in gleicher Höhe erhalten werde, so dafs wir an der Oberfläche die Geschwindigkeit 0 setzen können, so ist der Druck, den ein Wassertheilchen, das sich in der Tiefe h unter dem Niveau befindet und mit der Geschwindigkeit v behaftet ist, auszuhalten hat, dem einer Wassersäule von der Höhe

$$h - \frac{v^2}{M}$$

entsprechend, wo M eine Constante ist, welche in den Lehrbüchern als $2g$ angegeben wird, welche ich aber lieber mit jenem allgemeinen Zeichen bezeichnen werde. Die hydraulische Druckhöhe ist also gleich der statischen, verringert um die Gröfse $\frac{v^2}{M}$. Das Wasser, welches aus der Oeffnung ausfliefst, steht unter dem Druck des dasselbe umgebenden Mittels. Ist diefs die atmosphärische Luft, so steht das ausfliefsende Wasser unter demselben Druck, wie das Niveau; mithin mufs, wenn H die Tiefe der Oeff-

nung unter dem Niveau und V die Ausflufsgeschwindigkeit bezeichnet,

$$H - \frac{V^2}{M} = 0$$

seyn. Uebt dagegen das Mittel, in welches das Wasser durch die Oeffnung ausfliefst, einen Druck aus, welcher, um den Druck einer Wassersäule von der Höhe H' gröfser ist als am Niveau, so mufs

$$H - \frac{V^2}{M} = H'$$

seyn. Der Ausdruck $h - \frac{v^2}{M}$ wird negativ, wenn v einen solchen Werth hat, dafs $\frac{v^2}{M}$ gröfser wird, als h; d. h. in diesem Falle würde das betrachtete Wassertheilchen unter einem geringeren als dem atmosphärischen Drucke stehen.

Weifsbach hat nun gefunden, dafs bei dem von ihm in seiner Hydraulik, S. 171 (Fig. 96) beschriebenen Gefäfse, welches aus zwei gröfseren Wasserbehältern A und B (Fig. 4 Taf. IV) besteht, die durch ein enges Rohr c mit einander verbunden sind, an dieser Verbindungstelle ein negativer Druck stattfindet, wenn das Wasser durch die Oeffnung F ausfliefst. Er brachte nämlich die Stelle c durch ein nach unten gebogenes Rohr s mit einem Wassergefäfs G in Verbindung und fand, dafs das Wasser aus letzterem in dem Rohre s in die Höhe stieg. Diese Erscheinung erklärt sich aus der obigen Formel sofort, indem man bedenkt, dafs wenn c zum Beispiel dieselbe Weite wie F hat, auch die Geschwindigkeit v bei c der Ausflufsgeschwindigkeit V gleich seyn mufs, dafs der Abstand h der Stelle c vom Niveau kleiner ist als die Tiefe H der Ausflufsöffnung, mithin, da $H - \frac{V^2}{M} = 0$ ist, $h - \frac{v^2}{M}$ negativ seyn mufs; daher wird die in dem Rohre s zunächst vorhandene und unter atmosphärischem Drucke stehende Luft in c hineingedrückt, worauf denn das Wasser aus G nachfolgt.

Die von mir beobachtete Erscheinung scheint mir bis zu einer bestimmten Gränze hin nichts anderes zu seyn, als

eine Modification der Weifsbach'schen. Man wird nämlich bis zu einem bestimmten Abstande der beiden Platten m und n den von demselben eingeschlossenen Raum als ein Gefäfs ansehen dürfen, und den von ihren Rändern begränzten Cylindermantel als eine rings um das Gefäfs angebrachte Oeffnung. Bedeutet nun F die Gröfse dieser Oeffnung und a den Abstand beider Platten, $2R$ den Durchmesser derselben, so ist:

$$F = 2R\pi . a.$$

Die Ausflufsgeschwindigkeit V wird bei den oben gemachten Voraussetzungen bestimmt durch die Gleichung

$$H - \frac{V^2}{M} = H'$$

wo in unserem speciellen Falle H die Tiefe der Platten unter dem Niveau des durch R fliefsenden Wassers und H' die Tiefe derselben unter dem Niveau des Wassers im Gefäfse A (siehe Fig. I Taf. IV) bedeutet.

Betrachten wir nun einen mit dem Rande concentrischen Cylindermantel, dessen Basis den Radius r hat, und ist v die Geschwindigkeit an der betrachteten Stelle, so ist die hydraulische Druckhöhe an dieser Stelle gleich $H - \frac{v^2}{M}$. Der Inhalt f des betrachteten Cylindermantels ist $2r\pi . a$. Die Wassermenge, die in der Zeiteinheit durch f strömt, mufs dieselbe seyn, wie die durch F ausströmende, also mufs $f . v = F . V$ seyn, also

$$v = \frac{F}{f} . V = \frac{R}{r} . V;$$

also ist v gröfser als V; mithin geht die Formel $H - \frac{v^2}{M}$ über in $H - \frac{R^2}{r^2} . \frac{V^2}{M}$, eine Gröfse, welche offenbar kleiner als H' ist. Demnach ist an der betrachteten Stelle der hydraulische Druck geringer, als der von aufsen wirkende statische Druck, welcher der Höhe H' entspricht; dasselbe gilt aber von jeder Stelle zwischen den beiden Platten. So lange wir also den Raum zwischen den beiden Platten als ein zusammenhängendes Gefäfs betrachten können, dessen Flüssigkeitstheilchen gleichmäfsig an der Bewegung theilnehmen,

so lange ist der hydraulische Druck, unter welchem das Wasser zwischen den beiden Platten steht, geringer als der von aufsen auf die Platten wirkende Druck, und zwar nimmt jener nach dem Rande hin zu; denn je mehr $r = R$ wird, um so mehr wird $H - \frac{R^2}{r^2}\frac{V^2}{M} = H'$.

Indessen wäre es falsch zu behaupten, dafs der hydraulische Druck gerade in der Mitte der Platte am geringsten ist. Denn in der Mitte wirkt der Stofs des aus dem Rohre R mit senkrechter Geschwindigkeit herausströmenden Wassers gegen die Platte m. Diese senkrechte Geschwindigkeit mufs das Wasser erst vollständig verlieren, um dann die waagerechte anzunehmen. Durch diefs fortwährende Strömen des Wassers gegen die Platte m übt dasselbe einen constanten Druck auf die Platte aus. Die Gröfse dieses Druckes ist die Trägheitskraft, welche das Wasser bei dem Verluste an Geschwindigkeit entwickelt, und wird demnach, wie leicht zu sehen, ausgedrückt durch

$$\frac{\delta . \varphi . u^2}{g},$$

wo φ die Gröfse der Oeffnung 0 (Fig. 2 Taf. IV), u die Geschwindigkeit des bei 0 austretenden Wassers und δ das Gewicht der Volumeneinheit Wasser bezeichnet.

In Folge dieses Stofses bemerkt man auch beim Beginn eines jeden Experimentes ein Steigen der Zunge der Waage, was ein Herabgehen der Platte m anzeigt; im weiteren Verlaufe des Experimentes wird die Wirkung des Stofses durch den nunmehr eintretenden geringeren Druck des Wassers zwischen den Platten aufgehoben.

Die Wirkung dieses Stofses auf die Platte m ist es auch, welche die bei den weiteren Abständen beobachteten Erscheinungen hervorruft.

Die Geschwindigkeit V des Wassers beim Austritt aus dem Plattenraume ist unabhängig von dem Abstande der Platten; denn sie wird, wie wir gesehen haben, bestimmt durch die Gleichung

$$H - \frac{V^2}{M} = H';$$

ebenso ist die Geschwindigkeit an irgend einer Stelle zwischen den beiden Platten unabhängig vom Abstande derselben; denn sie wird ausgedrückt durch die Formel

$$v = \frac{R}{r} \cdot V;$$

mithin ist der hydraulische Druck, so lange wir die Flüssigkeit zwischen den beiden Platten als eine zusammenhängende betrachten dürfen, für jeden Abstand derselbe, also auch die Differenz desselben und des von aufsen auf die Platten wirkenden statischen Druckes constant. Da aber durch φ in der Zeiteinheit das Wasservolumen $\varphi . u$, durch F das Volumen $F . V$ fliefst, so ist

$$\varphi . u = F . V, \text{ also } u = \frac{F.V}{\varphi} = \frac{2R\pi . V}{\varphi} . a.$$

Die Geschwindigkeit u ändert sich also in demselben Maafse wie a; also wächst der Stofs $\frac{\delta \varphi u^2}{g}$ wie das Quadrat von a, ist also bei doppeltem Abstande bereits vier Mal so grofs. Folglich mufs die von jener Differenz der Drucke innen und aufsen hervorgerufene Anziehung der Platte m bei einem bestimmten a aufgehoben und bei noch gröfserem a in eine Abstofsung verwandelt werden.

Es bliebe nun noch die Frage zu erörtern, bis zu welchem Abstande hin man die Flüssigkeit zwischen den beiden Platten als eine zusammenhängende, an der Bewegung gleichmäfsig theilnehmende zu betrachten hat; denn dafs hier eine Gränze stattfindet, sehen wir schon an der beobachteten Thatsache, dafs wenn der Abstand die Gröfse von $\frac{5}{4}$ Zollen überschritten hat, die Erscheinungen dieselben sind, ob die obere Platte vorhanden ist, oder nicht. Allein um hierüber etwas feststellen zu können, fehlen mir die Experimente, und in meiner Stellung als Student ist es mir leider nicht vergönnt, zu denselben Mittel und Mufse herbeizuschaffen. Ich hege aber die Hoffnung, dafs die bezeichneten Untersuchungen zu wichtigen Resultaten führen würden über die bis jetzt noch völlig unbekannte *Viscosität* oder *Zähigkeit* oder, wie es Weifsbach nennt, *Klebrigkeit* des

Wassers. Denn das, glaube ich, leuchtet wohl ein, dafs das Wasser zwischen den Platten nur in Folge dieser Eigenschaft als eine zusammenhängende Masse betrachtet werden kann.

Erst, wenn diese Frage gehörig beantwortet ist, ist es möglich, die gefundenen Resultate der Rechnung zu unterwerfen.

Sollte daher nicht vorher ein Anderer die genannten Untersuchungen übernehmen, so sehe ich mich genöthigt, diese Arbeit erst in einer späteren Zeit zu vervollständigen.

In derselben Weise liefsen sich auch die ähnlichen Erscheinungen bei Luft, die in den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts viel Aufsehen erregten, besser als es von Clément und Hachette geschehen ist, untersuchen, und es dürfte deshalb die durch ihre an allen Theilen der Brücke gleiche Empfindlichkeit ausgezeichnete Schönemann'sche Brückenwaage in Verbindung mit dem Abfänger, der als eine willkührlich bewegliche Verlängerung der Brücke anzusehen ist, noch einen wesentlichen Apparat für hydraulische Versuche bilden.

Schliefslich benutze ich die Gelegenheit, sowohl dem Hrn. Prof. Schönemann, als Hrn. Prof. Knoblauch öffentlich meinen Dank auszusprechen.

Berlin den 6. Juli 1858.

V. *Ueber einige Bewegungserscheinungen innerhalb des Schliefsungsbogens der galvanischen Kette; von A. Paalzow.*

Wenn man auf eine Kupferplatte, welche mit dem einen Pol einer galvanischen Säule von vier Bunsen'schen Elementen verbunden ist, ein dünnes Platinblech legt und darauf ein Stück Kohle, von der Form eines Halbrings, in dessen einem freien Ende eine Vertiefung angebracht ist so grofs, dafs ein Quecksilbertropfen darin Platz findet; so geräth die Kohle in eine wiegende Bewegung von ziemlicher Regelmäfsigkeit, wenn man in das Quecksilber einen Platindraht hineinführt, der mit dem anderen Pol der Säule communicirt.

Die Anordnung des Versuchs ist durch die Fig. 5 Taf. IV dargestellt, in der *a* eine Kupferplatte, *b* das Platinblech und *c* die Kohle bezeichnet.

Aus den Versuchen über die vortheilhafteste Darstellung dieser Erscheinung ergab sich zugleich, dafs Platinblech von der Stärke, wie es gewöhnlich in den Grove'schen Elementen gebraucht wird, sich am besten eignet, dafs ganz dünnes Messing- und Kupferblech die Erscheinung viel schwächer und die dünnsten Bleche von anderen Metallen dieselbe gar nicht zeigen. Wurden die Metalle auf eine Kupferplatte von bedeutender Dicke gelöthet, so zeigte sich beim Platin, nachdem der Wieger lange Zeit darauf gestanden und Funken übergegangen waren, eine leise zitternde Bewegung. Als Wieger eignete sich nur gut leitende Kohle, wie sie in den Bunsen'schen Elementen und zur Erzeugung des elektrischen Lichtes gebraucht wird; Holzkohle blieb unbewegt.

Zugleich mit der Bewegung beobachtete man den Uebergang vom Funken zwischen Kohle und Platinblech, und, wenn die Bewegung so heftig wurde, dafs beim Wiegen

der Platindraht aufser Berührung mit dem Quecksilber kam, auch zwischen Quecksilber und Platindraht.

Ehe das Wiegen zu Stande kam, bemerkte man stets eine Hebung der Kohle, als ob sie vom Platindraht angezogen würde; oft blieb es auch nur bei dieser Hebung, ohne dafs eine regelmäfsige Bewegung eintrat. Als nächste Ursache der Bewegung konnte die von Ampère theoretisch und experimentell nachgewiesene Abstofsung der beweglichen Theile eines Schliefsungsbogens der galvanischen Kette vermuthet werden. Hiegegen sprach jedoch schon die Thatsache, dafs nicht auf allen Metallen die Bewegung eintrat, und dafs bei derselben Stromstärke, demselben Quecksilber und Platindraht, bei dem diese lebhafte Bewegung der Kohle erfolgte, eine Abstofsung des Platindrahtes in der Ampère'schen Rinne nicht bewirkt werden konnte, selbst dann nicht, wenn der Ampère'sche Versuch so abgeändert wurde, wie es Fig. 6 Taf. IV darstellt, wo mit *a* ein zweimal rechtwinklig gebogener Platin- oder Eisendraht bezeichnet ist, der an einem Coconfaden hängt, und dessen freie Enden auf den getrennten Quecksilbernäpfen *b* und *b'* ruhen; die Quecksilbernäpfe selbst sind mit den Polen der Säule verbunden. Da nun bei diesem Versuche die Adhäsion zwischen Platin und Quecksilber dieselbe, das Gewicht des Drahtes aber geringer als das der Kohle ist, so mufste geschlossen werden, dafs diese Kraft, welche den Platindraht nicht vom Quecksilber zu stofsen vermag, auch in dem vorliegenden Versuch die Kohle nicht vom Platindraht forttreiben werde.

Es konnte ferner möglich seyn, dafs bei dem Uebergange des Funkens zwischen Kohle und Platin die Kohlentheilchen mit einer Kraft fortgeschleudert würden, welche zur Hervorbringung der in Frage stehenden Bewegung ausreiche. Zu diesem Gedanken führte die Berücksichtigung der Thatsachen, welche de la Rive in seinem *Traité d'Electricité T. II, p.* 225 beschreibt. De la Rive hatte seine Versuche mit einer Kette von 10 Grove'schen Elementen angestellt; es war daher zu untersuchen, ob auch mit vier

Bunsen'schen Elementen eine solche Abstofsung hervorgebracht werden könne, welche möglichst den Bedingungen, wie sie beim Wiegen gegeben sind, entspricht. Es wurde daher ein langes schmales Platinblech in verticaler Lage an dem einen Ende befestigt und hier der eine Pol der Säule hingeführt; dem anderen freien und leicht beweglichen Ende wurde eine zugespitzte Kohle angelehnt und zu ihr führte der andere Pol. Nur wenn die Kohle lebhaft verbrannte, hörte man einen leisen Ton und sah eine ganz unbedeutende Bewegung; lag ein breites Kohlenstück am freien Ende des Platinblechs, so unterblieb Beides. Es folgte daraus, dafs auch diese Kraft die eigentliche Ursache der Bewegung nicht seyn könne, sondern dafs eine bereits eingetretene Bewegung von ihr höchstens um ein Geringes vermehrt werde.

Es läfst sich aber zeigen, dafs die Wärme, welche sich beim Uebergang des Funkens im Platin an der Berührungsstelle entwickelt, eine Formveränderung des Bleches hervorbringt, bei der eine Bewegung der Kohle nothwendig erfolgen mufs.

Liegt nämlich der Wieger oder auch ein Stück Kohle mit ebener Basis auf einem Platinbleche, so beobachtet man, wie schon gesagt, beim Uebergang von Funken eine Hebung der Ränder des Bleches. Es wurde nun umgekehrt wie früher auf ein grofses ebenes Stück Kohle ein Platinblech gelegt, und die Kohle mit dem einen, das Platinblech mit dem anderen Pol der Säule verbunden; auch nun zeigte sich beim Auftreten von Funken eine Bewegung des Platinblechs, indem sich an der Stelle, wo ein Funke überging eine nabelförmige Vertiefung, die convexe Seite der Kohle zugewendet, bildete, die eine Hebung der Ränder zur Folge hatte. Dieselbe Formveränderung und Bewegung des Platinblechs erhielt man auch, wenn die Erwärmung durch die Spitze einer Löthrohrflamme bewirkt wurde.

Hiernach kann man sich den Bewegungsvorgang beim Wiegen so deuten: an der Stelle, wo das Platinblech der Kohle am nächsten ist, geht ein Funke über, zugleich

damit findet eine ungleichmäfsige Erwärmung und Formveränderung des Bleches statt, so dafs die Kohle dadurch aus ihrer Gleichgewichtslage kommt; dadurch wird der Funkenübergang nach einer anderen Stelle verlegt, und darauf erfolgt wieder Bewegung des Bleches und der Kohle. Ist nun das Blech eben, so wird der Funkenübergang da stattfinden, wo die Kohle das Platinblech am stärksten gegen das Kupferblech drückt, so dafs mit einer Veränderung der Lage der Kohle auch nothwendig der Funkenübergang wieder da stattfinden wird, wo nun die Kohle berührt. Enthält das Blech dagegen Erhabenheiten und Vertiefungen, so wird die Stelle des Funkenübergangs durch diese bedingt, und die wenig veränderte Lage der Kohle hat keinen Einflufs darauf. Daher erklärt es sich, dafs im letzten Falle das regelmäfsige Wiegen ausbleibt. Dafs die Bewegung durch Anlöthen der Bleche aufgehoben, und bei Metallen, die sich leicht oxydiren, gar nicht zu Stande kommt, folgt auch aus der angenommenen Erklärung.

Die Beschäftigung mit der eben geschilderten Erscheinung, bei der das Quecksilber, wenn auch nur eine untergeordnete, Stelle spielt, gab die Veranlassung die Versuche zu wiederholen, welche zeigen, dafs der galvanische Strom, wenn er einen Elektrolyten bei Anwesenheit von freiem Quecksilber zersetzt, dieses und den Elektrolyten in lebhafte Bewegung bringt.

Helwig [1]) und Gerboin [2]) sind die ersten, welche solche Bewegungen beschrieben haben; Erman [3]), Herschel [4]), Pfaff [5]), Schweigger [6]) und Nobili [7]) wählten sie zum Gegenstande specieller Untersuchungen. Die Haupterscheinungen sind hier immer so, dafs das Queksil-

1) Gilb. Ann. Bd. 32, S. 261.
2) Gilb. Ann. Bd. 11, S. 340.
3) Gilb. Ann. Bd. 32, S. 284.
4) *Ann. de chim. et de phys. XXVIII, p.* 280. Schweigg. Journ. Bd. 44, S. 191. Schweigg. Journ. Bd. 48, S. 46.
5) Schweigg. Journ. Bd. 48, S. 190.
6) Schweigg. Journ. Bd. 48, S. 324.
7) Schweigg. Journ. Bd. 54, S. 41.

ber sich dem einen Pol nähert und sich wieder von ihm entfernt und dadurch in undulatorische Bewegungen geräth, deren Geschwindigkeit und Art mannichfach je nach der Stärke des Stromes und der Natur der Elektrolyte wechselt; dann dafs der Elektrolyt in eine, meistens regelmäfsige, fortschreitende Bewegung von dem einen zum anderen Pol versetzt wird, und dafs er zu beiden Seiten dieses Stromes Wirbel bildet. Ob die Richtung des Stromes von dem positiven zum negativen Pol gehe, oder umgekehrt, wird durch die Natur der Flüssigkeit bedingt; ferner ob ein oder mehrere Wirbelpaare sich bilden, hängt von der Lage der Zuleitungsdrähte ab.

Die angeführten Beobachter schrieben die Ursache der Bewegung der anziehenden und abstofsenden Kraft der Pole der Säule zu, wobei es nur auffallend war, dafs aufserordentlich geringe Kräfte ziemlich bedeutende Massen in Bewegung setzten. Zwar hatte schon Sérullas [1]) und nach ihm Herschel gefunden, dafs solche Bewegungen sich zeigen, wenn Quecksilberamalgam in Elektrolyten mit Metalldrähten berührt wird; ferner hatte Runge [2]) gezeigt, dafs ein Kupfervitriolkrystall, den man in eine Kochsalzlösung wirft, die selbst wieder auf Quecksilber gelagert ist, in lebhafte Bewegung geräth und sich schnell auflöst, wenn man das Quecksilber mit Eisen berührt; dennoch wurden auch diese Erscheinungen der Elektricität zugeschrieben, welche sich bei der Berührung von verschiedenen Metallen mit Flüssigkeiten erzeugt.

Nach einer anderen Ansicht betrachtet man diese Bewegungserscheinungen als hervorgerufen durch die chemische Einwirkung der Zersetzungsprodukte der Elektrolyten auf das Quecksilber, welchen der galvanische Strom nur eine bestimmte Richtung anweist, indem er die Zersetzung an bestimmten Stellen bewirkt. Diese Ansicht kann durch die nachfolgenden Versuche unterstützt werden.

1) *Ann. de chim. et de phys. T.* 34 *p.* 192.
2) Pogg. Ann. Bd. 8, S. 107 und Bd. 15, S. 95.

Bringt man einen kleinen Krystall von einfach- oder doppelt chromsaurem Kali in verdünnte Schwefelsäure, in der sich zu gleicher Zeit reines Quecksilber befindet, so geräth das Quecksilber und die Flüssigkeit in dieselben Bewegungen, welche vorher geschildert sind. Nach der Stelle, wo der Krystall liegt, verlängert sich das Quecksilber, zieht sich gleich darauf wieder zurück; in der Flüssigkeit bildet sich ein Strom vom Krystall zum Quecksilber und zu beiden Seiten erscheinen die Wirbel. Der Krystall, wenn er nicht zu schwer ist, wird durch die Bewegung fortgerissen und verändert nun dieselbe, indem er gewissermafsen die Stromcurve mit sich fortführt; er löst sich schneller auf als wenn das Quecksilber nicht vorhanden wäre, und schliefslich ist ein Pulver von chromsaurem Quecksilberoxydul niedergefallen.

Um den complicirten Vorgang zu detailliren, wurde auf reines Quecksilber ein Tropfen Wasser gebracht, und ein wenig krystallisirte Chromsäure hineingethan. So wie die Lösung derselben das Quecksilber berührte, breitete sich das Wasser mit grofser Geschwindigkeit über die ganze noch freie Quecksilberoberfläche aus, und führte den noch nicht gelösten Rest des Krystalls mit sich fort. Eine Schicht von Quecksilberoxydul und Chromoxyd hat sich auf dem Quecksilber niedergeschlagen und hindert die noch freie Chromsäure ferner oxydirend auf das Quecksilber einzuwirken. Der Cohäsionszustand des Quecksilbers ist so geändert, dafs es eine zähe teigige Masse bildet von gröfserer Breite und geringerer Dicke wie vorher; nur durch Abwaschen der Oxydschicht kann man dem Quecksilber den früheren Aggregatszustand wiedergeben.

Bringt man auf das oxydirte Quecksilber verdünnte Schwefelsäure, so wird die Oxydschicht fortgenommen, unter Bildung von schwefelsaurem Chromsalz und chromsaurem Quecksilberoxydul. Das noch freie Quecksilber nimmt wieder seinen alten Glanz und Flüssigkeitszustand an, und das Wasser, welches sich noch darauf befindet oder dasjenige, welches man neu hinzubringt, zieht sich, seinem capillaren

Verhalten zu Quecksilber gemäfs, in seine frühere gewölbte Form zusammen.

Hiernach läfst sich also der vorher erwähnte Vorgang so erklären, dafs bei der Auflösung des Krystalls von chromsaurem Kali in verdünnter Schwefelsäure die Flüssigkeit, welche die Lösung enthält, sich mit grofser Geschwindigkeit über das Quecksilber verbreitet, es dabei oxydirt und ausbreitet, dafs darauf sogleich wieder die Wegnahme der Oxydschicht durch die Säuren erfolgt und das Quecksilber seine alte Lage und Form annimmt. Dadurch erklärt sich einfach die strömende Bewegung der Flüssigkeit vom Krystall zum Quecksilber, wodurch wiederum die Bedingung zur Bildung von Strudeln zu beiden Seiten des Stromes gegeben ist; denn diese beobachtet man immer, wenn von einer Flüssigkeitsmasse nur ein Theil in fortschreitende Bewegung gesetzt wird, und nur Schweigger hat diese Strudel mit den elektromagnetischen Rotationen in Verbindung gebracht.

Aehnlich wie hier die Chromsäure und die Schwefelsäure die Bewegungen des Quecksilbers und der Flüssigkeit bewirken, indem sie es chemisch angreifen, geschieht es beim galvanischen Strom von den Zersetzungsprodukten des Elektrolyten, wie es noch an einem interessanten Beispiel gezeigt werden soll.

Führt man nämlich in einen Tropfen reinen Wassers, der auf ebenfalls sorgfältig gereinigtem Quecksilber liegt, einen Platindraht, der mit dem negativen Pol einer Säule verbunden ist, während ein anderer Platindraht, der die positive Elektrode bildet, sich im Quecksilber befindet, so breitet sich der Wassertropfen auf dem Quecksilber bedeutend aus; kehrt man nun den Strom um, so zieht sich der Wassertropfen nicht allein in seine alte Form zusammen, sondern sein Durchmesser wird geringer wie er vor jener elektrolytischen Einwirkung war, während der Randwinkel sich vergröfsert. Dieselbe Zusammenziehung erhält man auch, wenn der Strom gleich zu Anfang so geschlossen wird, dafs der Draht im Quecksilber negativ, der im Wasser positiv ist. Diese Bewegung des Wassertropfens verursachen schon

Ströme von sehr geringer chemischer Wirkung, denn bei Anwendung eines Funkeninduktors kann man auf diese Weise deutlich den Oeffnungs- und Schliefsungsstrom unterscheiden, wenn man den Hammer nicht fortwährend arbeiten läfst, sondern denselben mit der Hand andrückt und abreifst. Bewirkt dann der Schliefsungsstrom eine Ausbreitung des Wassertropfens, so giebt der Oeffnungsstrom deutlich eine Zusammenziehung, und umgekehrt, je nach der Richtung des Stromes in der Inductionsrolle.

Die Ausbreitung des Wassertropfens hängt mit der Oxydation des Quecksilbers zusammen, welche eintritt wenn es den positiven Pol bildet; das Wasser hat zu dem Oxyde eine gröfsere Anziehung wie zum reinen Quecksilber. Um aber die Zusammenziehung des Wassers zu erklären, wenn das Quecksilber den negativen Pol bildet, müfste man annehmen, dafs selbst das best gereinigte Quecksilber an seiner Oberfläche Sauerstoff und eine geringe Menge Oxyd enthalte, wodurch sein capillares Verhalten zu Wasser alterirt wird. Scheidet sich nun an dem Quecksilber Wasserstoff aus, so würde dieser das Quecksilber merklich reinigen und die Abstofsung zwischen Wasser und Quecksilber vermehren. Dafs sich die Sache in der That so verhält, beweist folgender Versuch. Auf reinem Quecksilber wird ein Wassertropfen von etwa 6‴ Durchmesser ausgebreitet, und ein wenig einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron oder ein kleiner Krystall dieses Salzes hinzugethan; so wie die Lösung auf die Quecksilberoberfläche kommt, findet augenblicklich eine Zusammenziehung des Wassertropfens statt und der Randwinkel vergröfsert sich, gewifs in Folge der oxydirenden Wirkung des unterschwefligsauren Natrons.

Offenbar sind die Ausbreitung und Zusammenziehung eines Wassertropfens auf Quecksilber unter dem Einflusse des galvanischen Stromes die Fundamentalphänomene bei dieser ganzen Klasse von Bewegungserscheinungen; da sich nun beide auf rein chemischem Wege nachbilden lassen, so scheint der Schlufs gerechtfertigt, dafs auch unter dem Einflusse des galvanischen Stromes die Bewegungen des Queck-

silbers und des Elekrolyten nicht der Elektricität, sondern der chemischen Veränderung des Quecksilbers zuzuschreiben sind, wenn es als Elektrode dient.

VI. *Ueber die Verbindungen von Chloraluminium mit den Chloriden des Schwefels, Selens und Tellurs; von Rudolph Weber.*

Bei Gelegenheit der Mittheilung über das Jod- und Bromaluminium, vergl. diese Annal. Bd. 103, S. 269, erwähnte ich eines Verfahrens, nach dem das Chloraluminium, dessen Farbe verschieden angegeben wird, als eine schneeweifse Substanz zu erhalten ist. Es wird zu dem Ende das gefärbte Chlorid mit Aluminiumpulver in eine knieförmig gebogene Glasröhre eingeschlossen, das Chlorid geschmolzen und vorsichtig von dem Metallpulver abdestillirt. Bei diesem Prozesse ist es besonders wichtig, dafs das Chlorid im geschmolzenen Zustande mit dem Aluminium in Berührung komme, deshalb wird zunächst der Theil des Rohrs, in welchem sich das Gemenge nicht befindet, stark erwärmt; es vermehrt sich hierdurch der Druck im Innern des Rohrs und das Chlorid, welches unter dem gewöhnlichen Druck, ohne vorher flüssig zu werden, sich verflüchtigen würde, schmilzt leicht bei dem vermehrten Druck. Die Flüssigkeit über dem Metallpulver ändert bald die Farbe; durch stärkeres Erwärmen sublimirt dann das flüchtige Chlorid und überkleidet, blendend weifse Krystalle bildend, den kälteren Theil der Röhrenwand.

Wöhler hat diese Angabe über die Farblosigkeit des Chloraluminiums bestätigt[1]); für die folgenden Versuche

1) Vergl. meine Inauguraldissertation. Göttingen 1858, S. 10.

habe ich mir das reine farblose Chlorid nach dieser Methode verschafft.

Die gelbe Farbe, welche das Chloraluminium gewöhnlich zeigt, rührt wohl in den meisten Fällen von einem geringen Eisengehalte her, der sowohl theils aus dem Alaun, der zur Bereitung der Thonerde benutzt wurde, als auch aus dem Material der Gefäfse, in denen die Darstellung des Chlorids geschah, stammen kann; es schien mir indessen damals schon von Interesse, zu prüfen, ob nicht auch andere Substanzen, die dem Chloride möglicher Weise beigemengt seyn könnten, auf dessen Farbe von Einfluſs wären. Ich untersuchte aus diesem Grunde das Verhalten des Chlorschwefels zum Chloraluminium. Es kann sich der Chlorschwefel sehr leicht in dem Chloride finden, wenn die benutzte Thonerde etwas basisch schwefelsaure Thonerde enthält, deren Schwefelgehalt unter den Umständen die Entstehung von Chlorschwefel veranlafst.

Befeuchtet man etwas reines weifses Chloraluminium mit einem Tropfen Schwefelchlorür S_2Cl, das zuvor durch Destillation von einem Ueberfluſs an Schwefel befreit worden ist, so färbt sich diefs bald dunkler gelb, als das Schwefelchlorür an sich gefärbt ist; durch gelindes Erwärmen aber wird das Gemisch tief dunkelroth und bildet bei einem kleinen Ueberschufs von Chlorschwefel eine homogene dickflüssige Masse, in welcher keine Theilchen von Chloraluminium sich weiter unterscheiden lassen. Diese Beobachtung bildete den Ausgangspunkt der folgenden Untersuchung, welche Hr. Prof. Magnus in seinem Laboratorium auszuführen mir gütigst gestattete.

Wird in eine Glasröhre weifses Chloraluminium mit so viel rectificirtem Chlorschwefel eingeschlossen, dafs das Chlorid mit dem Chlorschwefel vollständig durchtränkt ist, und dieses dann gelinde erwärmt, so bildet sich eine dunkelrothe Flüssigkeit, deren Farbe an die des Broms erinnert. Es genügt schon die Temperatur des siedenden Wassers, diese Farbe des Gemisches hervorzurufen; auch bildet schon bei niedriger Temperatur dasselbe dann eine homogene dick-

flüssige Masse. Nach einiger Zeit wird das Gemisch wieder heller und nach mehreren Tagen ist es gewöhnlich wieder bräunlich gelb gefärbt, wird dann aber durch Erwärmen wieder intensiv roth. Mit derselben Probe läfst sich dieser Prozefs beliebig oft wiederholen. Erhitzt man das Gemisch in einer knieförmig gebogenen Glasröhre, so destillirt zu Anfang röthlich gefärbter Chlorschwefel über; die später übergehenden Partien sind mehr roth gefärbt, der Rückstand wird dickflüssiger und sehr tief dunkelroth, später verflüchtigt sich der übrige rothe Inhalt bis auf einen kleinen Rückstand. Durch fractionirte Destillation die Producte annähernd zu sondern, gelingt leider nicht. Dieser rothe Körper bildet sich durch Einwirkung von Aluminiumpulver auf Schwefelchlorür; die Wirkung des Metalls ist bei gelinder Erwärmung ziemlich energisch, durch Destillation kann man dann die rothe Verbindung mit dem überflüssigen Chlorschwefel von den nicht flüchtigen Rückständen trennen.

Die entschiedene Farbenveränderung, welche das Gemisch beider Chloride beim Erwärmen zeigt, deutet auf die Bildung einer eigenthümlichen Verbindung hin, welche wahrscheinlich die Elemente der Gemengtheile enthält, aber wohl in einem anderen Verhältnifs, als sie in diesem verbunden sind. Eine direkte Verbindung von Chloraluminium und Schwefelchlorür anzunehmen, hat wenig Wahrscheinlichkeit, da erst in höherer Temperatur die Farbe hervortritt und diese nach einiger Zeit wieder theilweise verschwindet; auch sprechen andere Gründe gegen diese Annahme. Da das Schwefelchlorid S Cl roth gefärbt ist, so liegt wohl die Vermuthung nahe, dafs dieses in unserer Verbindung sich finde; es müfste dann das Schwefelchlorür in Schwefel und Chlorid durch den Einfluſs des Chloraluminiums zerfallen; aber auch dieser Annahme widersprechen Thatsachen; zunächst die, dafs rothes Schwefelchlorid mit Chloraluminium zusammengebracht, nicht jene eigenthümliche Verbindung bildet. Ich leitete durch etwas Schwefelchlorür, das sich in einer geräumigen Flasche befand,

Chlorgas, und liefs die mit Chlor gefüllte Flasche wohl verschlossen einige Tage im Dunklen stehen. Das Chlorür färbte sich roth durch einen Gehalt an Chlorid; diefs bringt aber, mit Chloraluminium in Berührung, nicht jene intensiv rothe Färbung hervor, sogar das Erwärmen des Gemisches ist ohne Einflufs auf dessen Färbung. Ebenso wenig röthet sich das Gemisch des Chlorürs mit dem Chloraluminium, wenn man dasselbe in einen mit Chlorgas gefüllten Kolben bringt.

Mit Wasser in Berührung gebracht, zersetzt sich die rothe Verbindung; es scheidet sich reichlich Schwefel aus, welcher aber durch einen Rückhalt an Chlor weich bleibt; selbst längere Zeit mit Wasser in Berührung gehalten, wird der Chlorgehalt nicht vollständig entfernt. Salpetersäure scheidet ebenfalls Schwefel aus, selbst rauchende Salpetersäure löst die Verbindung in der Kälte unvollständig.

Durch Chlorgas wird die Verbindung wesentlich verändert; es entsteht eine andere eigenthümliche Doppelverbindung, deren Natur leichter zu erforschen ist, deren Entstehung und Eigenschaften wir zunächst erörtern wollen. An eine Glasröhre wurden an zwei benachbarten Stellen Kugeln angeblasen; in die eine derselben wurde das Gemisch von reinem Chlorschwefel und Chloraluminium gebracht, diefs durch gelindes Erwärmen zu einer rothen Masse vereinigt und ein Strom trocknen Chlorgases darüber geleitet, während die Kugel gelinde erwärmt wurde. Die Farbe des Inhaltes wurde immer heller, es destillirte röthlich gefärbter Chlorschwefel in die andere Kugel über, und es blieb eine ölige gelblich gefärbte Flüssigkeit in der Kugel zurück, welche, nachdem durch gelindes Erwärmen der Ueberschufs des Chlorschwefels ausgetrieben war, bei gesteigerter Temperatur weifse Dämpfe bildete, und nach dem Erkalten zu einer gelblichen krystallinischen Masse erstarrte. Die Kugelröhre wurde nun vor der Lampe geschlossen. Der Inhalt der Kugel stellt eine krystallinische gelbliche Masse dar, welche bei 100° geschmolzen wird, sich mit Wasser unter starker Erhitzung zerlegt; es scheidet sich hierbei *etwas Schwefel* aus, die Lösung enthält neben Salzsäure

und Thonerde auch Schwefelsäure und unterschweflichte Säure; Silberlösung giebt einen grauen Niederschlag, aus dem Ammoniak Chlorsilber auflöst und Thonerde, mit einem schwarzen Rückstande gemengt, ungelöst läfst. Diese Doppelverbindung ist ziemlich stabil; sie läfst sich in einer gebogenen geschlossenen Glasröhre destilliren, ohne dafs äufserlich eine Veränderung derselben bemerkbar wäre.

Dieser Körper zeigt demnach ein ähnliches Verhalten wie jene eigenthümlichen Verbindungen, welche von H. Rose[1]) aufgefunden, und als Verbindungen von Chlormetallen mit einem Chlorschwefel zu betrachten sind, welcher die Zusammensetzug S Cl oder $S Cl_2$ hat. In diesen Verbindungen finden sich die Chloride einiger Metalle, deren analoge Sauerstoffverbindungen entschieden Säuren bilden: die von Zinn, Titan, Arsen und Antimon. H. Rose erhielt dieselben durch Erwärmen der Schwefelmetalle in einer Chloratmosphäre als leicht schmelzbare oder flüssige Massen, welche zum Theil leicht zersetzt werden.

Die direkte Bestimmung der Bestandtheile unserer Verbindung bestätigte die Vermuthung. Der Gang der Analyse war einfach folgender: Nachdem die Substanz, auf oben beschriebene Weise erhalten, durch gelindes Erwärmen während einiger Zeit in einem Strom von Chlor von einem Ueberschufs an Chlorschwefel befreit war, wurden die Enden der Kugelröhre abgeschmolzen, der geschmolzene Inhalt der Kugel in das Ansatzrohr gegossen. Diefs darf nicht zu weit seyn, damit die Lösung in der verdünnten Säure nicht zu rasch erfolge und nicht hierdurch Verlust herbeigeführt werde.

Das Rohr wird eingeschnitten, abgebrochen, schnell mit einem Korkstöpsel gut verschlossen, gewogen und hierauf in ein Becherglas mit verdünnter Salpetersäure gebracht. Hier löst sich die Verbindung, unter Zersetzung der Säure und starker Erhitzung, die eine äufsere Abkühlung nöthig macht, bis auf eine unwägbare Spur Schwefel, leicht auf. Die Lösung enthält Thonerde, Salzsäure und den Schwefel als Schwefelsäure; Silberlösung fällt zunächst rein weifses Chlor-

1) Pogg. Ann. Bd. XLII, S. 517.

silber. Nachdem aus dem Filtrat der Ueberschufs des Silbersalzes abgeschieden, wurde durch Chlorbarium die Schwefelsäure gefällt und der schwefelsaure Baryt mit der Vorsicht weiter behandelt, welche bei Bestimmung von Schwefelsäure aus Salpetersäure haltenden Flüssigkeiten zu beobachten ist. Nach der Abscheidung des übrigen Baryts wurde durch kohlensaures Ammon die Thonerde gefällt.

Nach dieser Methode gelangte ich zu folgenden Zahlen:

Substanz	1,452	— 1,409	
Chlorsilber	4,718	— 4,600	
Schwef. Baryt	0,935	— 0,833	
Thonerde	0,304	— verfehlt.	

hieraus:

Chlor	1,164	— 1,135	
Schwefel	0,129	— 0,115	
Aluminium	0,162	— 0,159	als Verlust.
	1,455	1,409	

oder in 100 Theilen:

Chlor	80,16	— 80,53	
Schwefel	8,88	— 8,15	
Aluminium	11,15	— 11,32	(als Rest)
	100,21	100,00	

Diese Zahlen führen zu dem einfachen Atomverhältnifs 1 Al, 1 S, 5 Cl, welche Zusammensetzung erfordern würde:

Chlor	80,34
Schwefel	7,27
Aluminium	12,39
	100,00

was wohl hinreichende Uebereinstimmung liefert.

Hieraus läfst sich als rationelle Formel für unseren Körper combiniren:

$$Al\,Cl_3 + S\,Cl_2$$

Diese Formel möchte wenigstens die gröfste Wahrscheinlichkeit haben: sie setzt voraus, dafs das gewöhnliche Chloraluminium in der Verbindung enthalten sey, gewifs die einfachste Hypothese, gegen welche auch kein Einwand aus den vorliegenden Thatsachen entnommen werden kann. Als zwei-

tes Glied hätten wir dann einen Chlorschwefel von der Zusammensetzung $S Cl_2$ anzunehmen, welcher nicht isolirbar ist, für dessen Vorhandensein in unserer Verbindung aber die Existenz analoger Verbindungen spricht, in denen der Schwefel durch Selen und Tellur vertreten wird.

Das Selen bildet bekanntlich mit dem Chlor zwei Verbindungen, deren chlorreichste der selenigen Säure analog zusammengesetzt ist; sie bildet ein weifses Krystallaggregat, das ohne vorher zu schmelzen, in gelben Dämpfen flüchtig ist. Diefs Selensuperchlorid wurde mit Chloraluminium in einer verschlossenen Glasröhre gelinde erwärmt. Obgleich keins der Chloride für sich leicht schmilzt, so vereinigen sich doch beide zu einer leicht schmelzbaren Masse; ein Ueberschufs des Selensuperchlorids wird durch stärkeres Erwärmen ausgetrieben, verflüchtigt sich in den charakteristischen gelben Dämpfen und verdichtet sich an einem kälteren Theile der Röhre. Die Temperatur wird bis zum Siedepunkte der Verbindung gesteigert, die Dämpfe derselben condensiren sich früher zu kleinen Tröpfchen, während der Ueberschufs des Selenchlorids nur in den kälteren Theilen der Röhre verdichtet wird, und sich so mit Sicherheit abscheiden läfst.

Diese Doppelverbindung ist gelblich weifs, schmilzt bei 100° zu einer ölartigen Flüssigkeit, die öfter erst nach vollständigem Erkalten erstarrt; sie wird durch Erhitzen dunkeler gefärbt, löst sich unter Erwärmung in Wasser auf und scheidet dabei eine Spur Selen aus. Um die Substanz zu analysiren, wurde eine gewogene Menge in Wasser gelöst; die Wägung etc. geschah, wie bei der Schwefelverbindung beschrieben. Aus der Lösung wurde durch einen Strom Schwefelwasserstoff das Selen gefällt, dann das Filtrat etwas erwärmt und Luft hindurch geblasen, um den Ueberschufs des Gases zu entfernen. Hierbei findet unvermeidlich ein kleiner Verlust an Salzsäure statt, aber die Anwendung von Eisenoxydsalz zur Abscheidung des Schwefelwasserstoffs ist wegen der Schwierigkeiten einer genauen Trennung von Thonerde und Eisenoxyd hier nicht anwend-

bar. Aus der Flüssigkeit wurde durch Silberlösung die Salzsäure gefällt und endlich die Thonerde durch kohlensauren Ammoniak.

Drei Versuche führten zu folgenden Zahlen:

Substanz	0,941	— 1,345	— 0,800
Chlorsilber	2,723	— 3,877	— 2,318
Thonerde	0,193	—	0,185

hieraus:

Chlor	0,672	— 0,956	— 0,572
Aluminium	0,103	—	0,098
Selen, als Rest	0,166	—	0,130
	0,941		0,800

oder in 100 Theilen.

Chlor	71,38	— 71,11	— 74,48
Aluminium	10,94	—	12,32
Selen	17,68	—	16,20
	100,00		100,00

Eine Verbindung, in welcher 1 Se, 1 Al, 5 Cl vereinigt sind, hat die procentische Zusammensetzung:

Chlor	72,59
Aluminium	11,19
Selen	16,22
	100,00.

mit welchem die gefundenen Zahlen ziemlich übereinstimmen. Die rationelle Formel dieser Doppelverbindung wäre dann:

$$Al\,Cl_3 + Se\,Cl_2$$

Auch das der tellurigen Säure analoge Tellurchlorid vereinigt sich mit dem Chloraluminium, aber die Verbindung ist weniger stabil als die vorhergehenden; sie kann nicht ohne theilweise Zersetzung zum Kochen erhitzt werden. Es wurde wie oben in einer verschlossenen gebogenen Röhre das Gemisch beider Chloride erwärmt; dieselben vereinigen sich dann leicht, ein Ueberschufs von Chloraluminium entweicht durch etwas verstärktes Erwärmen. Wird aber die Temperatur weiter gesteigert so treten gelbe Dämpfe, wohl die der Doppelverbindung, auf, welche schnell condensirt werden, aber dabei sublimirt immer wieder etwas Chloralu-

minium in den kälteren Theil der Röhre. Die durch nur gelindes Erhitzen von dem Ueberschufs an Chloraluminium befreite Doppelverbindung ist geblich weifs gefärbt, leicht schmelzbar, zersetzt sich mit Wasser und scheidet tellurige Säure aus. Verdünnte Schwefelsäure löst sich ohne Rückstand.

Aus dieser Lösung einer gewogenen Menge der Verbindung wurde durch Schwefelwasserstoff das Tellur gefällt, diefs als Schwefeltellur gewogen, Chlor und Thonerde dann wie oben gefällt.

Es ergab sich:

Substanz	0,721	—	0,933
Schwefeltellur	0,271	—	0,363
Chlorsilber	1,875	—	2,415
Thonerde	verfehlt	—	0,172

hieraus:

Tellur	0,180	—	0,242
Chlor	0,462	—	0,596
Aluminium	0,079*	—	0,091

oder in 100 Theile:

Tellur	25,03	—	25,91
Chlor	64,16	—	63,86
Aluminium	10,81*	—	9,82
	100,00		99,59

Die Zusammensetzung angenommen zu

1 Te, 1 Al, 5 Cl

oder:

$$Al\,Cl_3 + Te\,Cl_2$$

würde erfordern:

Tellur	23,87
Chlor	65,96
Aluminium	10,17
	100,00

Wird die Temperatur höher gesteigert als zur Entfernung des Ueberschusses an Chloraluminium nöthig ist, die Verbindung bis zu ihrem Siedepunkte, der ziemlich hoch

* als Rest.

liegt, erhitzt, so zersetzt sich ein Theil derselben und ein an Tellur reicherer Rückstand bleibt zurück. Eine direkte Bestimmung ergab 27,10 — 27,41 Proc. Tellur und 62,41 — 63,40 Proc. Chlor.

Das Chloraluminium bildet also Doppelverbindungen mit den Chloriden der Elemente aus der Gruppe des Schwefels, welche die Zusammensetzung $R Cl_4$ haben. Mit den für sich isolirbaren Chloriden des Selens und Tellurs erhält man durch unmittelbare Vereinigung jene Verbindungen; das entsprechende für sich nicht isolirbare Chlorid des Schwefels entsteht erst durch den Einfluſs des Chloraluminiums aus den niedren Chloriden in der Chloratmosphäre und bildet dann mit dem ersteren eine ziemlich stabile Doppelverbindung.

Wir kommen nun auf die rothe Verbindung zurück. Sehr wahrscheinlich enthält dieselbe aufser Chloraluminium einen Chlorschwefel, welcher reicher an Schwefel ist als das Schwefelchlorür $S_2 Cl$. Es wurde schon oben erwähnt, daſs destillirter Chlorschwefel mit reinem Chloraluminium sich nur gelb färbt, daſs aber beim Erhitzen die Röthung eintritt und nach einigen Tagen wieder verschwindet, durch Erwärmen wieder hervortritt. Löst man aber in dem Schwefelchlorür noch Schwefel auf, so erfolgt bei der Berührung mit dem Chloraluminium die Röthung sofort und ist nun bleibend. Um die Einwirkung der Feuchtigkeit zu hindern, wurden die Substanzen in Glasröhren eingeschmolzen.

Ueberraschend ist das Verhalten der gelblich weifsen Doppelverbindung $Al Cl_3 + S Cl_2$ gegen Schwefel. Bei sehr gelindem Erwärmen, ja zum Theil schon in der Kälte, wird diese vom Schwefel verändert; die etwas weiche Masse färbt sich mit Schwefel in Berührung tief roth, sie zerflieſst dabei, es läſst sich durch Erwärmen Chlorschwefel abdestilliren, das später übergehende Destillat aber färbt sich dunkeler; leider ist auch hier keine Trennung möglich. Es ist mir überhaupt noch nicht bis jetzt gelungen eine Methode zu finden, durch welche die rothe Verbindung mit völliger Sicherheit sich isoliren lieſse; durch fractionirte Destillation

gelingt diefs nicht. Auch wohl nur unvollkommen erreichte ich eine Trennung durch Schwefelkohlenstoff, in welcher Flüssigkeit sich Jod- und Bromaluminium lösen, dagegen das Chlorid nur sehr wenig [1]). Setzt man zu einem Gemische von Chloraluminium und Chlorschwefel, in dem noch Schwefel gelöst worden und welches bis zur Zertheilung des Chloraluminiums erwärmt ist, das mehrfache Volumen von Schwefelkohlenstoff, so scheidet sich eine rothe dickflüssige Masse aus, die mit dem Glasstabe gut durchgeknetet werden mufs, um sie in vielfache Berührung mit dem Schwefelkohlenstoff zu bringen. Dieser entzieht das Schwefelchlorür und hinterläfst endlich eine tief rothe brüchige Masse, welche, einige Zeit unter Schwefelkohlenstoff aufbewahrt, leicht zerreiblich wird. Mit Wasser in Berührung gebracht, entfärbt sie sich, Schwefel scheidet sich als cohärente Masse aus; derselbe enthält aber noch viel Chlor. Von Salpetersäure wird sie nur unvollkommen gelöst.

Ueber die Zusammensetzung dieses rothen Körpers wage ich vorläufig nichts Bestimmtes auszusagen, und bemerke nur, dafs er sehr wahrscheinlich die Elemente Chlor Schwefel und Aluminium enthält, und, wie aus den Umständen unter denen seine Bildung erfolgt zu schliefsen ist, neben Chloraluminium vielleicht einen Chlorschwefel einschliefst, der mehr Schwefel als das Chlorür S_2Cl enthält. Wahrscheinlich besteht auch eine der rothen Verbinduug analoge, welche Brom statt Chlor enthält; denn eine Auflösung von Schwefel in Brom, die an sich schon roth gefärbt ist, wird in Berührung mit Bromaluminium ebenfalls sehr tief roth. Eine Isolirung gelingt hier aber noch weniger, da die Masse sich in Schwefelkohlenstoff ganz löst.

Das Verhalten der Chloride der anderen Erdmetalle gegen Chlorschwefel zu untersuchen, hoffe ich in nächster Zeit Gelegenheit zu haben.

1) Pogg. Ann. Bd. 103, S. 271.

VII. *Ueber das Niobchlorid; von Heinr. Rose.*

Während es mir nicht gelang, mehr als eine Chlorverbindung des Tantals darzustellen, giebt das Niob zwei Chloride, die wie die aus ihnen dargestellten metallischen Säuren zwar verschiedene Eigenschaften zeigen, aber sich so wenig wie Chloride und Oxyde eines und desselben Radicals zu erkennen geben, dafs ich lange der Meinung war, sie wären Verbindungen zweier Metalle, bis es endlich gelang, unter bestimmten Umständen die eine oder die andere Chlorverbindung aus einer und derselben Säure zu erhalten, und aus diesen die verschiedenen Säuren im reinen Zustand darzustellen.

Ich nannte früher die Säure, welche aus dem leichter flüchtigen gelben Chloride des Metalls erzeugt worden, Pelopsäure, und die, welche aus dem minder flüchtigen weifsen Chloride dargestellt worden war, Niobsäure. Da ich mich für die Benennung Niobium für das Metall entschieden habe, so müssen auch die Benennungen der Verbindungen des Metalls danach verändert werden. Ich habe gefunden, dafs das gelbe Chlorid mehr Chlor als das weifse enthält; die aus ersterem dargestellte Säure mufste daher sauerstoffreicher seyn, als die aus letzterem erhaltene. Ich nenne daher das gelbe Chlorid *Niobchlorid*, und die daraus dargestellte Säure *Niobsäure*; das weifse Chlorid müfste daher Niobchlorür, und die demselben entsprechende Säure niobichte Säure genannt werden. Ich habe mich aber nicht zu diesen Benennungen entschliefsen können, da der Charakter der beiden Säuren durchaus nicht von der Art ist, wie sonst der zweier Oxydationsstufen desselben Radicals. Ich habe daher vorgezogen, der niedrigen Chlorstufe und der daraus dargestellten Säure die Namen *Unterniobchlorid* und *Unterniobsäure* zu geben. Ich mache noch einmal darauf aufmerksam, dafs erstere Verbindungen von mir früher Pelopchlorid und Pelopsäure; letztere aber Niobchlorid und

Niobsäure genannt worden sind. Nur die Unterniobsäure ist in den in der Natur vorkommenden niobhaltigen Mineralien gefunden worden; bis jetzt noch nicht die Niobsäure.

Ich habe vor einiger Zeit umständlich das Verfahren angegeben, auf welche Weise das gelbe und das weifse Chlorid des Niobs erzeugt wird, und wie beide im Zustand der Reinheit dargestellt werden können [1]); zugleich bemerkte ich, dafs mir diefs früher nicht möglich gewesen war. Das gelbe Chlorid, welches ich in den früheren Zeiten dargestellt hatte, enthielt ungeachtet aller Bemühungen immer etwas vom weifsen, von welchem es auf keine Weise durch Erhitzung vollständig getrennt werden konnte, während das weifse Chlorid im reineren Zustand erhalten werden konnte. Alle meine früheren Analysen des gelben Chlorids haben daher einen geringeren Chlorgehalt ergeben, als die des später dargestellten reinen Chlorids, und sind daher ebenso wenig richtig, wie die Untersuchungen der Verbindungen der vermittelst des Chlorids dargestellten Säure.

Das gelbe Niobchlorid wurde zu der quantitativen Untersuchung bei seiner Darstellung in einen Theil der langen Glasröhre, in welcher es erzeugt worden war, geleitet, der an beiden Seiten ausgezogen worden. Nachdem sorgfältig nach der vollendeten Darstellung das im Apparate befindliche Chlorgas durch trockne atmosphärische Luft ersetzt worden war, wurden die ausgezogenen Enden der Glasröhre zugeschmolzen.

Das gelbe Chlorid des Niobs hat Aehnlichkeit mit dem Tantalchlorid, doch ist seine Farbe reiner und etwas tiefer gelb. Es fängt bei niedrigerer Temperatur an sich zu erzeugen, als das Tantalchlorid. Die Temperatur, bei welcher es entsteht, konnte durch ein Thermometer nicht bestimmt werden, aber es erzeugt sich bei einer Temperatur, bei welcher Zink noch nicht schmilzt. Es ist, wie ich schon früher angegeben habe, flüchtiger als das Tantalchlorid, und verflüchtigt sich wie dieses schon vor dem Schmelzen, und zwar schon bei 125° C., während die Verflüchtigung des

1) Pogg. Ann. Bd. 90, S. 456.

Tantalchlorids erst ungefähr bei 144° wahrgenommen werden kann. Es schmilzt schon bei etwas niedrigerer Temperatur als dieses, schon bei 212°, und erstarrt früher als das geschmolzene Tantalchlorid.

Die Untersuchung des Niobchlorids ist bei weitem schwieriger als die des Tantalchlorids, und kann nicht so genaue Resultate wie dieses geben. Wenn es durch Wasser zersetzt wird, so bleibt eine geringe Menge der Niobsäure in der entstandenen verdünnten Chlorwasserstoffsäure gelöst, die nicht durch Ammoniak so vollständig, wie gelöste Tantalsäure gefällt werden kann. Dennoch aber ist von allen Verbindungen des Niobs das Chlorid diejenige, welche sich fast am besten zur Bestimmung des Atomgewichts des Niobs eignet. Um auf die Schwierigkeiten aufmerksam zu machen, die bei der Untersuchung des Chlorids sich finden, will ich die Resultate einiger Versuche hier anführen, aber nur solcher, bei denen ein reines Chlorid angewandt wurde.

1) 1,045 Grm. des Chlorids wurden mit einer grofsen Menge von Wasser, mit ungefähr einem Quart, in Berührung gebracht, das Ganze in einem verschlossenen Glase mäfsig erwärmt, und die ausgeschiedene Säure nach 24 Stunden abfiltrirt. Sie wurde mit heifsem Wasser so lange ausgewaschen, bis das Waschwasser keine Spur von Chlor mehr zeigte, und nach dem Trocknen geglüht, wobei sie eine starke Lichterscheinung zeigte. Sie wog 0,506 Grm. Die filtrirte Flüssigkeit mit salpetersaurem Silberoxyd versetzt, gab 2,672 Grm. Chlorsilber. Aus der getrennten Lösung wurde vermittelst Schwefelwasserstoffs das überschüssige Silberoxyd entfernt, und die vom Schwefelsilber getrennte Flüssigkeit in einer Platinschale bis zur Trocknifs abgedampft. Es blieb ein sehr geringer brauner Rückstand, der sich mit gelber Farbe in Chlorwasserstoffsäure löste. Die Lösung wieder zur Trocknifs abgedampft, gab nach dem Glühen einen aschgrauen Rückstand, der mit saurem schwefelsaurem Kali geschmolzen, nach der Behandlung mit Wasser etwas Ungelöstes hinterliefs, das aber wiederum von grauer Farbe war. Nach dem Glühen löste Königs-

wasser aus diesem etwas Platin auf, und hinterliefs einen weifsen Rückstand von 0,006 Grm.

Es waren erhalten worden:

Niobsäure	49,00
Chlor	63,25
	112,25.

Der Chlorgehalt entspricht aber 14,27 Th. Sauerstoff, was bedeutend von dem bei der Untersuchung erhaltenen Ueberschufs abweicht, so dafs die Analyse nicht richtig seyn konnte. Und in der That, als das erhaltene Chlorsilber durch Zink reducirt, das reducirte Silber nach dem Auswaschen geglüht und mit Salpetersäure behandelt wurde, löste es sich zwar in derselben auf, aber durch Verdünnung mit Wasser entstand eine Trübung, die durch einen Zusatz von Ammoniak im Ueberschufs noch bedeutender wurde.

2) 1,210 Grm. des gelben Chlorids wurden durch Wasser zersetzt und die Flüssigkeit bis zum Kochen erhitzt, die Säure dann abfiltrirt und mit heifsem Wasser so lange ausgewaschen, bis das Waschwasser keine Reaction auf Chlor mehr zeigte. Es wurden 0,674 Grm. geglühte Niobsäure erhalten. Der von der Säure getrennten Flüssigkeit wurde nach dem Erkalten, ohne sie zu erwärmen und ohne sie mit Salpetersäure anzusäuren, salpetersaures Silberoxyd hinzugesetzt. Es wurden 2,839 Grm. Chlorsilber erhalten; im Ganzen also;

Niobsäure	55,69
Chlor	58,02
	113,71.

Dieses Resultat weicht sehr von dem ersten Versuche ab; aber der Chlorgehalt entspricht 13,09 Sauerstoff, was nahe mit dem bei der Analyse erhaltenen Ueberschusse übereinstimmt.

3) 1,246 Grm. des Chlorids wurden wiederum mit Wasser zersetzt, die Flüssigkeit bis zum Kochen erhitzt, die Säure filtrirt und mit heifsem Wasser ausgewaschen. Die Säure wog nach dem Glühen 0,651 Grm. und das in der filtrirten Flüssigkeit durch salpetersaures Silberoxyd gefällte

Chlorsilber 3,006 Grm. Es waren also erhalten

Niobsäure	52,25
Chlor	59,63
	111,88.

Die Menge des dem Chlorgehalt entsprechenden Sauerstoffs beträgt 13,45.

4) In den Glasröhren, in welchen das Niobchlorid gesammelt wurde, safs ein Theil desselben, welcher dem erhitzten Theile des Glasrohrs am nächsten lag, und deshalb im geschmolzenen Zustande gewesen war, fest an den Wänden des Glases; ein anderer Theil, der sich aus dem dampfförmigen Zustande krystallinisch niedergeschlagen hatte, war grob-pulverförmig, und liefs sich von dem festansitzenden Theile abschütteln. Beide Theile wurden besonders untersucht.

0,560 Grm. des krystallinisch-pulverförmigen Chlorids wurden nach der Zersetzung mit Wasser, durch Ammoniak neutralisirt, und schwach erwärmt, wodurch keine bemerkbare Trübung entstand. Das Ganze wurde einige Zeit gekocht und dann die Säure filtrirt, und aus der filtrirten Flüssigkeit nach Uebersättigung mit Salpetersäure durch salpetersaure Silberoxydlösung das Chlor als Chlorsilber gefällt. Es wurden 0,282 Grm. Niobsäure und 1,392 Grm. Chlorsilber erhalten, oder

Niobsäure	50,36
Chlor	61,43
	111,79.

Für das erhaltene Chlor sind aber 13,85 Th. Sauerstoff im Aequivalent.

5) 0,576 Grm. des festansitzenden Chlorids wurden mit Wasser zersetzt, das Ganze kurze Zeit hindurch gekocht, und dann die Niobsäure abfiltrirt. Die filtrirte Flüssigkeit gab mit Ammoniak keine Trübung, auch nicht als das Ganze wiederum bis zum Kochen erhitzt wurde. Sie wurde mit Salpetersäure sauer gemacht, und das Chlor als Chlorsilber abgeschieden. Es wurden 0,308 Grm. Niobsäure und 1,366 Grm. Chlorsilber erhalten, oder

Niobsäure	53,47
Chlor	58,68
	112,15.

Das Aequivalent des Chlors an Sauerstoff ist 13,24.

Alle diese Untersuchungen haben, wie wir sehen, keine übereinstimmende und offenbar ungenaue Resultate gegeben, weil das Sauerstoffaequivalent für das erhaltene Chlor nicht gut mit dem Ueberschufs bei der Analyse übereinstimmt. Die Zersetzung geschah vermittelst reinen Wassers, wobei eine nicht ganz unbedeutende Menge von Niobsäure durch die entstandene verdünnte Chlorwasserstoffsäure aufgelöst, und bei der Fällung des Chlorsilbers als niobsaures Silberoxyd gefällt wird. In dem Chlorsilber kann man sich von der Gegenwart der Niobsäure auf die im ersten Versuche angegebene Weise überzeugen. — Die Untersuchung des Niobchlorids bietet deshalb ähnliche Schwierigkeit dar, wie die des Wolframchlorids, dessen Untersuchung die schwierigste unter denen aller Chlormetalle ist, weil noch keine Methode bekannt ist, die Chlorwasserstoffsäure von der Wolframsäure zu trennen, worauf ich schon öfters aufmerksam gemacht habe [1]). Es mufste deshalb eine andere Methode der Untersuchung des Chlorids angewandt werden.

6) Es wurden 2,023 Grm. des gelben Chlorids in eine Lösung von kohlensaurem Natron gebracht, die aus 30 Grm. des krystallisirten Salzes bestand, das in der zwölffachen Menge Wassers aufgelöst war. Bei der Zersetzung entwich neben der Kohlensäure keine Spur von Chlorwasserstoffsäure und Niobsäure schied sich als saures Natronsalz im flockigen Zustande aus. Das Ganze wurde bis zum Kochen erhitzt, und darauf durch Schwefelsäure schwach sauer gemacht. Beim Erhitzen löste sich viel von der Niobsäure auf, was aber durch die Einwirkung der Schwefelsäure wieder gefällt wurde. Es wurde so lange mit dem Erhitzen fortgefahren, bis alle Kohlensäure ausgetrieben worden war. Die Niobsäure wurde abfiltrirt, und die filtrirte Flüssigkeit mit Ammoniak übersättigt, wodurch sich

1) Ausführliches Handbuch der analyt. Chem. Bd. 2, S. 584.

von Neuem eine geringe Menge von Niobsäure ausschied. Beide Antheile der Säure wurden mit heifsem Wasser ausgewaschen. Das Chlor war bald ausgewaschen, aber nicht die Schwefelsäure. Es wurde so lange mit dem Auswaschen fortgefahren, bis das Waschwasser beim Abdampfen keine Spur von Rückstand hinterliefs; es enthielt aber dann das Waschwasser noch Schwefelsäure. Die beiden Antheile der Säure wurden in einer Atmosphäre von kohlensaurem Ammoniak geglüht. Es wurden 1,065 Grm. und durch Ammoniak noch 0,012 Grm. Niobsäure erhalten; und endlich nach Uebersättigung der filtrirten Lösung durch Salpetersäure durch salpetersaures Silberoxyd 4,908 Grm. Chlorsilber. Dasselbe wurde nach dem Schmelzen vermittels Zinks reducirt, und das Silber so lange ausgewaschen, bis das Waschwasser nicht mehr auf Chlor reagirte, dann geglüht und in Salpetersäure gelöst. Es löste sich darin ganz vollständig auf, und die Lösung trübte sich weder durchs Verdünnen mit Wasser, noch durch Uebersättigung mit Ammoniak. — Es wurden erhalten:

Niobsäure	53,23
Chlor	60,00
	113,23.

Das Aequivalent für das Chlor an Sauerstoff ist 13,53.

7) 1,191 Grm. Niobchlorid, auf eine ganz ähnliche Weise wie im sechsten Versuch behandelt, gaben: 0,657 Grm. Niobsäure und 2,810 Grm. Chlorsilber oder

Niobsäure	55,16
Chlor	58,35
	113,35

Der Chlorgehalt entspricht 13,16 Sauerstoff.

8) 2,015 Grm. Niobchlorid gaben nach einer gleichen Behandlung mit kohlensaurem Natron und Schwefelsäure, 1,064 Grm. Niobsäure und 4,839 Grm. Chlorsilber oder

Niobsäure	52,80
Chlor	59,35
	112,15.

Die Menge des Chlors entspricht 13,39 Sauerstoff.

Diese Analysen des Chlorniobs stimmen bei weitem weniger überein, als die von Verbindungen übereinstimmen müssen, aus deren Zusammensetzung man das Atomgewicht eines einfachen Körpers bestimmen will. Dieser Mangel an Uebereinstimmung rührt aber nur von der Schwierigkeit der Untersuchung selbst her.

Wollen wir aus der Zusammensetzung des Chlorniobs die der Niobsäure berechnen, so können wir dazu nicht die Resultate der ersten 5 Analysen zum Grunde legen, weil diese nach einer fehlerhaften Methode angestellt worden sind. Nun stimmen zwar die der letzten 3 Analysen auch nicht sehr gut überein; da sie aber nach einer, wie ich glaube, besseren Methode ausgeführt sind, und der gefundene Chlorgehalt mehr ein richtiges Aequivalent von dem sich durch den Ueberschufs bei der Untersuchung ergebenden Sauerstoff ist, so möge es erlaubt seyn, aus den letzten 3 Analysen das Mittel zu nehmen, und die Zusammensetzung des Chlorniobs festzusetzen zu:

Niob	40,77
Chlor	59,23
	100,00.

Die Zusammensetzung der Niobsäure ist dann

Niob	75,32
Sauerstoff	24,68
	100,00.

Wir werden später sehen, dafs diese Zahlen sich durch die Zusammensetzung von Verbindungen der Niobsäure und der Unterniobsäure werden verbessern lassen.

Ich nehme keinen Anstand, in der Niobsäure wegen ihrer grofsen Aehnlichkeit mit der Tantalsäure dieselbe atomistische Zusammensetzung wie in dieser anzunehmen. Es wird sich aus dem Folgenden ergeben, wie sehr dieselbe durch die Zusammensetzung der Unterniobsäure gerechtfertigt wird. Ist aber die Zusammensetzung der Niobsäure NbO^2, so ist das Atomgewicht des Niob's 610,37, (oder gegen Wasserstoff 48,82), das der Niobsäure 810,37 und das des Niobchlorids 1496,93.

Wenn das Niobchlorid mit Sorgfalt bereitet worden ist, so enthält es keine Spur von Sauerstoff. Man kann sich von der Abwesenheit desselben im Chlorid auf dieselbe Weise überzeugen, wie ich die Abwesenheit des Sauerstoffs im Tantalchlorid bewiesen habe. Wenn man nämlich über gut bereitetes Niobchlorid Schwefelkohlenstoffdampf leitet, und in demselben sublimirt, so wird kein Schwefelniob gebildet, und das Chlorid nicht geschwärzt, wenn bei dem Versuch der Zutritt der atmosphärischen Luft vermieden worden ist.

Das Niobchlorid löst sich unter Chlorwasserstoffentwicklung in concentrirter Schwefelsäure zu einer klaren Flüssigkeit auf; die Auflösung trübt sich durchs Kochen, und bildet beim Erkalten eine ähnliche doch nicht so dicke Gallerte wie das Tantalchlorid unter gleichen Umständen. Wird dieselbe mit Wasser verdünnt, so löst sich im sauren Wasser ein Theil der Niobsäure auf, wird aber das Ganze gekocht, so enthält die abfiltrirte Flüssigkeit fast nichts von derselben.

Wird das Niobchlorid mit Chlorwasserstoffsäure behandelt, so löst es sich darin auf; die Lösung trübt sich nach längerer Zeit und gerinnt. In Wasser löst sich das Ganze nicht vollkommen auf; die filtrirte Lösung ist opalisirend und enthält viel Niobsäure, die aber aus der Flüssigkeit durchs Kochen fast ganz gefällt werden kann. Kocht man dagegen das Niobchlorid mit Chlorwasserstoffsäure, so erhält man eine unklare Lösung, die nicht zu einer Gallerte gerinnt. Setzt man zu derselben Wasser, so bildet dasselbe eine klare Flüssigkeit, die durchs Kochen nicht getrübt wird. Fügt man zu derselben Schwefelsäure, so entsteht durch dieselbe keine Fällung bei gewöhnlicher Temperatur, wohl aber durchs Kochen.

Wird das Niobchlorid mit einer Lösung von Kalihydrat erhitzt, so wird dasselbe gröfstentheils, aber nicht vollständig gelöst; es ist aber in gröfserer Menge darin löslich als das Tantalchlorid. Auch eine Lösung von kohlensaurem

Kali löst eine nicht unbedeutende Menge von Niobsäure aus dem Niobchlorid beim Kochen auf.

Das Niobchlorid löst sich im Alkohol zu einer klaren Flüssigkeit auf, und es bleibt nur ein geringer Rückstand, der mit Wasser übergossen, gelatinirt. Wird die klare alkoholische Flüssigkeit in einer Retorte der Destillation unterworfen, so geht zuerst Alkohol und Chloraethyl über und dann Chlorwasserstoffsäure. Es bleibt eine syrupsdicke Flüssigkeit zurück, die sich zu einer klaren Lösung in Wasser löst; aus der Lösung scheidet sich aber Niobsäure durchs Kochen ab. Wird der Syrup weiter erhitzt, so fängt er an sich zu schwärzen. Er besteht unstreitig aus niobsaurem Aethyloxyd, das sehr schwer flüchtig ist, denn nur das letzte Destillat, als der Rückstand in der Retorte schon sehr geschwärzt wurde, enthielt etwas Niobsäure.

Wird Niobchlorid in Chlorwasserstoffsäure aufgelöst, fügt man darauf Wasser hinzu, und setzt metallisches Zink hinein, so erhält man eine schöne blaue Farbe. Schöner noch kann man sie bekommen, wenn man das Niobchlorid mit Schwefelsäure übergiefst, und dann Wasser und Zink hinzufügt.

Niobbromid.

Versuche, um durch ähnliche Behandlungen einer Säure des Niobs vermittelst Brom zwei verschiedene Bromverbindungen des Niobs zu erhalten, wie diefs durch Chlor erreicht werden kann, gelangen etwas unvollkommen, sind indessen auch nicht genug fortgesetzt, und wiederholt worden.

Um ein dem Niobchlorid analoges Bromid darzustellen, wurde eine Säure des Niobs mit vieler Kohle gemengt, und das Gemenge in einem Strome von trocknem Kohlensäuregas stark geglüht; in demselben liefs man es erkalten, und leitete dann einen raschen Strom von Bromgas darüber. Um diesen zu erhalten, wurde trocknes Wasserstoffgas durch flüssiges Brom, und dann über das schwach erhitzte Gemenge geleitet. Es erzeugten sich zwar Spuren von Niob-Bromid, die aber durch das zugleich erzeugte Wasser sogleich zersetzt wurden.

Das Brom wurde darauf vermittelst eines raschen Stromes von Kohlensäuregas über das Gemenge geleitet. Es bildete sich ein gelbliches, sehr voluminöses Bromid, das ohne zu schmelzen sich im Bromgas sublimiren liefs. Es war diefs Niobunterbromid. Dasselbe ist schwerflüchtiger als das analoge Niobunterchlorid. Als versucht wurde, dasselbe vom anhängenden freien Brom, dem es auch wohl seine gebliche Farbe verdankte, durch Sublimation in einem Strome von Kohlensäuregas zu reinigen, verwandelte sich die ganze Menge des Bromids in Unterniobsäure, welche sich nicht sublimiren liefs.

Neben dem gelben Niobunterbromid hatte sich ein purpurrothes Bromid gebildet, das durch gelinde Erwärmung im Bromgase diese Farbe behielt, bei stärkerer Erhitzung aber gelb wurde, und sich verflüchtigte. Es war diefs Niobbromid, das mit einer gewissen Hartnäckigkeit bei etwas höherer Temperatur noch Brom behielt, durch stärkere Erhitzung aber dasselbe verlor.

Um das Niobunterbromid reiner und in gröfserer Menge zu erhalten, wurde Unterniobsäure mit nur der doppelten Menge von Kohle gemengt, das Gemenge zuerst in einem Strome von Kohlensäuregas geglüht, und sodann reiner Bromdampf darüber geleitet. Es bildete sich dadurch eine bedeutende Menge des voluminösen Niobunterbromids, welches sich eben so verhält, wie das, welches aus einem Gemenge erhalten wurde, das eigentlich zur Darstellung des Niobbromids bestimmt war. Es war vollständig in einem Strome von Bromdampf sublimirbar; bei der allmählichen Erkältung absorbirte die Kohle des Gemenges das Bromgas so schnell, dafs das Bromid gegen eine oxydirende Wirkung nicht geschützt werden konnte. Es wurde nach und nach weifs, und konnte auch durch starke Hitze in einer Brom-Atmosphäre nicht mehr verflüchtigt werden.

Das Niobunterbromid verwandelt sich durch Wasser in Unterniobsäure und in Bromwasserstoffsäure; es löst sich dabei von ersterer dem Anschein nach etwas mehr auf, als bei der Zersetzung des Unterniobchlorids durch Wasser

gelöst wird. Durch Erhitzen mit concentrirter Schwefelsäure und concentrirter Chlorwasserstoffsäure wird es gelöst.

VIII. *Ueber eine Verbesserung an den Repetitionstheodoliten und Nivellirinstrumenten;* *vom Oberlehrer Dr. J. Heussi in Parchim.*

Es leidet keinen Zweifel, dafs die feineren geodätischen Winkelmesser in den letzten Jahren besonders durch die bessern deutschen mechanischen Werkstätten wesentliche Verbesserungen erfahren haben. Dessenungeachtet bleibt es noch immer wünschenswerth, die Winkelbestimmung bis auf einzelne Sekunden und Bruchtheile der Sekunde mit gröfserer Sicherheit und Genauigkeit ausführen zu können. Es leuchtet ein, dafs ein Instrument, an welchem diefs möglich werden soll, in jeder andern Beziehung zu den vollkommensten in seiner Art gehören mufs, sowohl was die Festigkeit der Aufstellung, die Richtigkeit der Limbustheilung, wie der Gleichmäfsigkeit und Regelmäfsigkeit seiner Centralbewegungen betrifft. Die Instrumente von Ertel und Breithaupt in Cassel lassen in diesen Punkten kaum noch Etwas zu wünschen übrig. Die Befestigung des Körpers an den festen Dreifufs mittelst der bekannten doppelten Spiralfeder giebt ihnen zugleich hinreichende Festigkeit, ohne die Vertikalstellung durch die Stellschrauben des Stativs zu behindern; was die neueren Kreistheilmaschinen für einen fördernden Einfluſs auf die Fortschritte in der Limbustheilung gehabt haben, ist bekannt; Gleiches gilt von der Centricität der Zapfenbewegungen und den verschiedenen Mitteln, die wir zur Justirung der Libellenapparate besitzen. Aber die Gränze, bis zu der eine genaue Ablesung, auch mit Hülfe der besten Nonien möglich ist,

hat bei allen diesen Verbesserungen keine Berücksichtigung gefunden.

Theilt man den Limbus von 8 Zoll Durchmesser in $\frac{1}{2}$ Grade, so sind die Theilstriche noch keine $\frac{1}{4}$, bei $\frac{1}{6}$ Graden noch keine $\frac{1}{8}$ Linie auseinander, was für die Ablesung schon sehr schwierig ist, und im Freien, bei unvortheilhafter Beleuchtung, nur mittelst der Blendscheibe und Lupe beschafft werden kann; durch die Nonien reducirt sich dann der abzulesende Bogen auf resp. 20 und 10 Sekunden, und über diese Gränze hinaus kann man mit einiger Sicherheit, selbst bei der oben angenommenen Dimension des Durchmessers, die zu den bedeutendsten unter den wirklich ausgeführten gehört, nicht gehen. Die gemessenen Winkel bleiben also innerhalb dieser Gränzen von resp. 20″ und 10″ unsicher, und nur bei den zur Repetition eingerichteten Theodoliten ist es noch möglich, durch Wiederholung die Fehlergränze auf eine geringere Gröfse herunterzubringen; bei den Nivellirinstrumenten bleibt sie in ihrer vollen Ausdehnung und beeinträchtigt daher das Resultat um so mehr, je mehr auf einander folgende Messungen in denselben mit einander verbunden sind.

Die Mechanik besitzt ein Mittel der sicheren und feinen Theilung, das noch lange nicht so oft angewendet wird, als es verdient; das ist die *Differentialschraube*, d. h. eine Schraube, deren Spindel zwei Gewinde von ungleicher Ganghöhe trägt. Denken wir uns hier unter all' den mannichfaltigen Verwendungen der Schraube, immer nur den einfachen Fall, der bei der Mikrometervorrichtung der Mefsinstrumente allein vorkommt, und wobei die Spindel die drehende, aber keine fortschreitende Bewegung erhält, die Mutter dagegen eine fortschreitende, aber keine drehende. Bei einem einzigen Gewinde schreitet die Mutter während einer ganzen Umdrehung der Spindel um die Höhe eines Schraubenganges fort; bei zwei Gewinden um die *Differenz* der beiden Ganghöhen. Es kommt also hier gar nicht so sehr darauf an, äufserst feine Schraubengänge zu haben; um eine sehr langsame und regelmäfsige Bewegung hervor-

zubringen, wird es genügen, dafs die beiden Gewinde nur wenig von einander verschieden, im Uebrigen aber in ihrer ganzen Ausdehnung gleichmäfsig geschnitten seyen. Bringt man dann noch auf der Spindel eine zur Axe der letzteren senkrecht stehende Scheibe an, die an ihrem Umfange etwa in 100 gleiche Theile getheilt ist, und befindet sich am unbeweglichen Theile des Instruments ein Zeiger, bei welchem die Scheibe bei ihrer Drehung mit der Spindel vorbeigehen mufs, so zeigt dieser Zeiger sowohl ganze, wie eine beliebige Zahl $\frac{1}{100}$-Umdrehungen an; eben so viele Ganghöhen oder Theile einer Ganghöhe ist denn auch die Mutter auf der Spindel fortgeschritten.

Es ist diefs genau die von den Mechanikern längst gebrauchte Vorrichtung der geradlinigen Theilmaschine oder des sogenannten Reifserwerks. Sie hat aber dort einen von dem unserigen ganz verschiedenen Zweck, nämlich die Messung oder Theilung einer *geraden Linie*, dahingegen wir sie hier zur *Winkelmessung* verwenden wollen.

Denken wir uns unter *A B* (Fig. 3, Taf. III.) den getheilten Limbus eines Winkelmessers, unter *C D* die Mikrometerschraube; *E F* sey ihr geränderter Kopf, *G H* eine mit der Spindel *C D* festverbundene, an ihrem Umfange getheilte Scheibe, *a, b* seyen die beiden Muttern der zwei ungleichen, doch nur wenig von einander verschiedenen Gewinde, wovon die eine (*b*), sobald überhaupt die Mikrometervorrichtung gebraucht werden soll, durch die Bremsschraube *P* an den Limbus festgeklemmt wird [1]), die andere (*a*) aber mit der Alhidade verbunden ist und bei ihrer Bewegung diese mit sich führt, rechts oder links, je nachdem die Drehung der Spindel *C D* geschieht. An der Platte *c*, die durch Schrauben mit einer ihr gegenüberstehenden fest verbunden ist, und welche beide als Pfannen für die kugelförmige Mutter *a* dienen, ist ein Elfenbeinstäbchen *uv* befestigt, das mit seiner scharfen Kante die Scheibe *G H* fast berührt, und so in unveränderlicher Stellung einen bestimmten Punkt

1) Der Schraubenkopf *P* ist in Fig. 3 am unrechten Ort gezeichnet; er mufs zur Hälfte unter dem Limbus liegen, dort wo der Kreisbogen geschlagen ist. (*P.*)

der sich drehenden Scheibe GH angiebt, ganze Umdrehungen oder Bruchtheile einer Umdrehung anzeigt.

Um nun sich dieser Vorrichtung zur Winkelmessung zu bedienen, überzeuge man sich durch wiederholt angestellte Versuche, aus deren Resultaten man das arithmetische Mittel nimmt, welchem Winkelwerthe w eine ganze Umdrehung der Differentialmikrometerschraube entspricht, wenn diese senkrecht auf den Winkelschenkel, d. h. hier auf den entsprechenden Radius des Alhidadenkreises wirkt. Schiebt die Schraube bei einer Umdrehung den Zeiger Ca (Fig. 4.), oder den entsprechenden Alhidadenradius r bis b fort, so ist eigentlich $\frac{ab}{Ca} = \frac{ab}{r} = tg\, w$. Für so kleine Winkel, wie hier vorausgesetzt werden, sind aber die Tangenten den Winkeln oder Bogen proportional, und es hat in der That keinen Einfluss auf das Resultat, wenn man diese Annahme bis zu Winkeln von 30′ gelten läfst; also kann man jedenfalls schliefsen, wenn die Schraube in einem anderen Falle $\frac{1}{n}$ einer Umdrehung machte, so habe der Zeiger den Winkel oder Bogen $\frac{w}{n}$ durchlaufen: und wenn man nicht über 30′ hinausgeht, so bleibt derselbe Schluss auch noch für die Vielfachen des Winkels w wahr, d. h. m Umdrehungen der Schraube entsprechen dem Winkelwerthe mw, wenn nur $mw \leqq 30'$ bleibt.

Es wird bequem seyn, auf dem Umfange der Theilscheibe GH (Fig. 3, Taf. III.) nicht aliquote Theile der Peripherie, sondern lieber ihre entsprechenden Winkelwerthe zu verzeichnen, um während der Messung und Ablesung der Berechnung überhoben zu seyn.

Die beschriebene Vorrichtung läfst sich indefs noch wesentlich vervollkommnen, wenn man statt des Zeigers uv eine zweite Theilscheibe IH (Fig. 5.) anbringt, die sich dicht an die erste GK anlegt, aber durch die Schrauben x, x' mit den festen Theilen des Instruments, also etwa mit den Klemmplatten c, d, oder einem anderen schicklichen Theile des Mikrometerwerks verbunden ist, und deren Theilung zu der

Theilung der ersten Scheibe GK die Rolle eines Nonius spielt, so dafs also $n-1$ Theile von GK auf IH in n gleiche Theile getheilt sind. Sind dann die Theile von GN in Bogentheile angegeben, so werden die Noniustheile sofort auch in Bogentheile abgelesen werden können.

Es versteht sich, dafs diese letztere, vervollkommnete Vorrichtung, ohne den gewöhnlichen Nonius gebraucht wird, da sie eine viel präcisere Ablesung gestattet, als dieser.

Denken wir uns nun einen Winkelmesser von etwa 6 Zoll Radius des Horizontalkreises, so ist die Peripherie mit Vernachlässigung des Bruches $= 452$ Linien. Die Mikrometerschraube bestehe aus zwei Gewinden, wovon das eine Gänge hat, deren 29 auf den Zoll gehen, vom anderen dagegen 30, so sind die Ganghöhen resp. $\frac{1}{29}$ und $\frac{1}{30}$ Zoll, und der Unterschied der Ganghöhe $= \frac{1}{870}$ Zoll $= \frac{2}{145}$ Linien. Bei einer vollen Umdrehung rückt solche Schraube also um $\frac{2}{145}'''$ vor, und diese Gröfse beträgt bei dem Radius von 6 Zoll, im Bogen 39″,5. Eine ganze Umdrehung der Differentialschraube beträgt sonach 39″,5; es wäre leicht, einen Radius zu wählen, für den sich hierbei runde Zahlen ergäben, oder auch die Schraubengänge so einzurichten, dafs derselbe Zweck erreicht würde. Theilte man bei den hier voliegenden Zahlenverhältnissen die grofse Theilscheibe in 395 gleiche Theile, und sollte jeder nicht kleiner werden als $\frac{1}{4}$ Linie, so würde diefs einen Radius der Theilscheibe von etwa 25 Linien erfordern, so dafs allerdings der Durchmesser über 4 Zoll würde, was manche Unbequemlichkeit mit sich führen würde; diese Theilung ergäbe aber auch 0,1 Sekunde, was gar nicht nöthig ist, da man Bruchtheile noch durch die Noniusscheibe erhalten kann. Aendert man den Radius um ein Geringes, so kann man es dahin bringen, dafs eine Umdrehung der Schraube $= 40$ Sekunden; theilt man dann die Scheibe in 160 Theile, so giebt jeder Theil $\frac{1}{4}$ Sekunde an, und die Noniusscheibe kann noch beliebige Theile der $\frac{1}{4}$ Sekunde bestimmen. Es leuchtet ein, dafs auch andere Verhältnisse gewählt werden können, die sich vielleicht praktisch bequemer erweisen, als die hier bei-

spielsweise angezogenen. Bemerkt mufs noch werden, dafs beim fertigen Instrumente der Werth einer Umdrehung der Schraube oder Theilscheibe nicht der Rechnung entnommen werden darf, sondern durch wiederholte Versuche festgestellt werden mufs, weil man nicht überzeugt seyn kann, dafs es dem Künstler gelungen sey, genau nach den theoretischen Zahlen zu arbeiten. Es ist diefs ein Geschäft der Prüfung des Instruments; zu berichtigen ist die Abweichung nachgehends blofs durch Rechnung.

Soll nun mit solcher Vorrichtung ein Winkel gemessen werden, so stellt man das Instrument wie gewöhnlich auf und richtet das Fadenkreuz des Fernrohrs erst durch grobe, dann mittelst der feinen Bewegung auf das erste Object; alle sonst zu beobachtenden Vorsichtsmafsregeln des Einstellens sind auch hier zu nehmen. Ist die Einstellung mit aller Schärfe bewirkt, so liest man die Gradzahl und diejenigen Bruchtheile eines Grades, die der Limbus direkt angiebt, ab, z. B. wenn der Limbus in $\frac{1}{3}$ Grade getheilt ist, die $\frac{1}{3}$ Grade. Dann schraubt man den Index bis zum letzten Theilstrich zurück, zählt die vollen Umdrehungen und liest von der Theilscheibe, mit Hülfe der Noniusscheibe noch die Bruchtheile einer vollen Umdrehung (gleich in Winkelmaafs) ab und addirt: 1) die erste Ablesung (bis zu $\frac{1}{3}$ Graden nach Annahme unserer Theilung); 2) den Bogen, welcher den vollen Umdrehungen der Theilscheibe entspricht; endlich 3) die Angabe der Noniusscheibe. Die gefundene Summe ist die dem Azimuth des Objects entsprechende Gradzahl. Gerade ebenso verfährt man beim zweiten Objecte; nimmt man dann, wie gewöhnlich, die Differenz beider Resultate, so erhält man die Gröfse des gemessenen Winkels mit fast beliebiger Genauigkeit.

Es würde natürlich ganz nutzlos seyn, diese Genauigkeit bis zu einem Punkte zu treiben, der von der Fehlergränze, welche aus andern constanten Ursachen herrühren, weit übertroffen würde.

IX. *Ueber die tägliche Schwankung des Windes;* *von L. Lose;*

Director d. Seiden-Trocknungs-Anstalt in Crefeld.

Bei meinen seit zehn Jahren angestellten meteorologischen Beobachtungen, wo ich täglich neben Barometer-, Thermometer- und Psychrometerstand, auch die herrschende Windrichtung von Morgens sieben Uhr bis Abends elf Uhr verzeichne, bin ich auf eine periodische Aenderung des Windes aufmerksam geworden, welche den Einfluſs der Tageszeiten aufser Zweifel zu stellen scheint. Indem ich nämlich am Schlusse eines jeden Jahres, unter Zugrundelegung der Lambert'schen Formel, die mittlere Windrichtung für die einzelnen Beobachtungsstunden berechnete, erhielt ich folgende Werthe:

Jahr	7^h M.	9^h	11^h	1^h Mittags	3^h	5^h	7^h	9^h	11^h	Mittel
1848	S. 65° VV.	S. 55° VV.	S. 64° VV.	S. 82° VV.	N. 88° VV.	N. 77° VV.	N. 75° VV.	N. 77° VV.	N. 83° VV.	S. 89° VV.
1849	S. 60 VV.	S. 84 VV.	S. 81 VV.	N. 84 VV.	N. 76 VV.	N. 72 VV.	N. 67 VV.	N. 64 VV.	N. 65 .	N. 78 VV.
1850	N. 68 VV.	N. 66 VV.	N. 77 VV.	N. 71 VV.	N. 68 VV.	N. 67 VV.	N. 63 VV.	N. 67 VV.	N. 66 VV.	N. 68 VV.
1851	N. 87 VV.	N. 89 VV.	N. 80 VV.	N. 75 VV.	N. 71 VV.	N. 63 VV.	N. 64 VV.	N. 65 VV.	N. 68 VV.	N. 72 VV.
1852	S. 23 O.	S. 18 O.	S. 10 O.	S. 6 VV.	S. 22 VV.	S. 11 O.	S. 25 O.	S. 47 O.	S. 20 O.	S. 15 O.
1853	S. 57 O.	S. 49 O.	S. 51 O.	S. 51 O.	S. 59 O.	S. 68 O.	S. 71 O.	S. 60 O.	S. 47 O.	S. 55 O.
1854	S. 63 VV.	S. 49 VV.	S. 64 VV.	S. 63 VV.	S. 84 VV.	N. 87 VV.	N. 76 VV.	N. 70 VV.	N. 85 VV.	S. 81 VV.
1855	N. 64 O.	S. 73 O.	S. 28 O.	N. 76 O.	N. 29 VV.	N. 7 VV.	N. 25 O.	N. 23 O.	N. 41 O.	N. 37 O.
1856	S. 31 VV.	S. 25 VV.	S. 54 VV.	S. 62 VV.	S. 88 VV.	N. 75 VV.	N. 65 W.	N. 74 VV.	S. 82 VV.	S. 76 VV.
1857	S. 33 O.	S. 25 O.	S. 27 O.	S. 17 O.	S. 26 O.	S. 33 O.	S. 43 O.	S. 38 O.	S. 37 O.	S. 29 O.

Es ergiebt sich daraus, dafs im Laufe des Tages Abweichungen von der Haupt-Windrichtung stattfinden, welche, wenn sie auch, gleich den Barometerschwankungen, nur aus gröfseren Beobachtungsreihen nachgewiesen werden können, doch einen so regelmäfsigen Verlauf nehmen, dafs sie nicht mehr als zufällig zu betrachten sind.

Beobachtungen Anderer scheinen über diesen Gegenstand nicht vorhanden zu seyn, wenigstens sind mir solche nicht bekannt geworden. Nur bei Kämtz finde ich eine Stelle, welche zeigt, dafs man die Existenz dieser periodischen Schwankungen bereits früher vermuthet hat. Derselbe sagt [1]):

»Wollen wir aber aus den Beobachtungen eines Ortes in höheren Breiten die mittlere Windrichtung für denselben herleiten, so ist die Frage, ob die Tageszeit hierauf einen Einfluſs habe, wie dieses in niederen Breiten an Küsten der Fall seyn würde. Schouw glaubt, dafs dieses nicht der Fall sey, indem in unseren Climaten keine Veranlassung zu seyn scheine, weshalb zu gewissen Tageszeiten ein Wind häufiger wehen solle, als ein anderer. Um diesen Satz zu beweisen, stellt er die Beobachtungen, welche vier Jahre hindurch im Juli zu Kopenhagen angestellt wurden, nach den Tageszeiten zusammen.« Wird hieraus Richtung und Stärke hergeleitet, so ergiebt sich:

Vormittag:	Richtung	S. 49°35′ W.	Stärke	0,315
Nachmittag:	»	S. 54°36′ W.	»	0,360
Vormitternacht:	»	S. 63°57′ W.	»	0,367
Nachmitternacht:	»	S. 58° 1′ W.	»	0,364

»Obgleich die mittleren Richtungen im Ganzen ziemlich gut übereinstimmen, so sehen wir doch vom Morgen an eine Bewegung von S. nach W. und in der Nacht wieder zurück. Diese Unterschiede, welche in dem angegebenen Falle nur die Gröfse von 14° erreichen, werden noch weit bedeutender, wenn die mittlere Stärke der Winde geringer wird; dann kann es wohl geschehen, dafs die Strömungen zu verschiedenen Tageszeiten fast diametral entgegengesetzt

1) Kämtz: Lehrbuch der Meteorologie Bd. 1, S. 216.

sind. So zeigen 10jährige Beobachtungen von Nicander zu Stockholm folgende Verhältnisse«:

7h Morgens:	Richtung	S. 98°48′ W.	Stärke	0,165
2h Abends:	»	N. 85° 4′ W.	»	0,153
9h »	»	S. 50,54′ W.	»	0,100

Eben so geben 12jährige Beobachtungen von Hemmer in Mannheim:

7h Morgens:	Richtung	N. 24° 5′ O.	Stärke	0,027
2h Abends:	»	S. 74°32′ W.	»	0,134
9h »	»	S. 36° 4′ W.	»	0,010

»Ob wir hier annehmen müssen, dafs in Stockholm am Morgen kalte Luft gegen den bottnischen Meerbusen dringe, während zur Zeit der grofsen Tageswärme ein Seewind sich erhebt, oder dafs in dem am östlichen Ufer des Rheins liegenden Mannheim sich am Morgen kalte Ostwinde gegen den Rhein bewegen, wage ich nicht zu entscheiden; das aber geht hieraus wenigstens hervor, dafs die Tageszeiten hier eine eben so wichtige Rolle spielen, als bei den meisten übrigen Erscheinungen der Atmosphäre. Bis jetzt fehlt es noch an hinreichenden Beobachtungen, um diesen Einfluſs der Tageszeiten zu bestimmen; wenn jedoch der Wind mehrmals am Tage aufgezeichnet ist, so entfernt sich das Endresultat wahrscheinlich nicht bedeutend von der Wahrheit.« Soweit Kämtz.

Da nun durch meine Beobachtungen die Thatsache als erwiesen gelten kann, auch ein Zurückführen der Schwankungen auf Küsteneinflüsse und Aehnliches wegen der Lage Crefelds unzulässig ist, so schien es mir an der Zeit, die Ursache der Erscheinung aufzusuchen. Ich habe zu dem Ende die täglichen Abweichungen des Windes für die einzelnen Monate im mehrjährigem Mittel bestimmt, und die Berechnung hat Resultate ergeben, welche, wie ich glaube, eine vollständige Erklärung enthalten. Ehe ich indefs zur Mittheilung derselben übergehe, will ich noch Einiges über die Beobachtungen selbst sagen.

Es sind immer nur acht Winde verzeichnet worden, nämlich N. NO. O. SO. S. SW. W. NW. Die Beobach-

tungen geschahen in den ersten Jahren an der Windfahne eines benachbarten Hauses, was den Uebelstand hatte, dafs bei Dunkelheit nicht direct beobachtet werden konnte und also an den Abendstunden annähernde Schätzungen, wobei das Gefühl, der Klang der Glocken etc. als Maafsstab dienten, vorgenommen werden mufsten. Sobald ich auf die Periodicität des Windes aufmerksam wurde, entstand in mir der Wunsch eine eigene Windfahne zu beschaffen, welche zu allen Zeiten directe Ablesungen im Innern des Gebäudes gestattete, konnte diefs aber nicht früher ausführen als zu Anfang des Jahres 1852, bei Gelegenheit eines damals stattfindenden Wohnungswechsels. Die seitdem auf dem neuen Gebäude angebrachte Windfahne ist 18 Zoll lang und 9 Zoll breit und an einer eisernen Stange befestigt, welche bis in die zweite Etage hinabreicht. Das Ende der Stange läuft in eine Spitze aus, die ihrerseits auf einer Pfanne von Stahl ruht, so dafs die Bewegung vollkommen frei und leicht ist. Unter der Decke des Stockwerks befindet sich eine Windrose und ein, an der Stange befestigter Zeiger giebt unmittelbar die Windrichtung an; es können demnach zu allen Tageszeiten genaue Angaben erhalten werden. Ihre Höhe über dem Strafsenpflaster beträgt freilich nur 52 Fufs, doch ragt sie über alle Häuser der Nachbarschaft hervor und Stauungen des Windes sind nicht zu befürchten. Ueberhaupt kommt es ja bei diesen Beobachtungen nicht so sehr darauf an, wie hoch die Fahne in die darüber befindliche Luftschicht hineinragt, als dafs keine störenden Einflüsse darauf einwirken und dafs die Ablesungen immer an denselben Instrumenten und unter denselben Bedingungen geschehen. Um nun die Resultate nicht zu vermischen und auch, weil die Beobachtungen der ersten vier Jahre für die Abendstunden keine Zuverlässigkeit besitzen, habe ich dieselben bei Ermittelung der monatlichen Schwankungen ganz ausgeschlossen. Ich gebe also im Folgenden nur die Berechnung meiner Beobachtungen von den letzten sechs Jahren 1852 — 1857 incl.

Die Zahl der in diesem Zeitraume verzeichneten Winde betrug, nach den einzelnen Monaten gesondert, für:

Januar.

	7h	9h	11h	1h	3h	5h	7h	9h	11h	Summe
N.	9	8	10	9	10	9	9	11	11	86
N. O.	11	11	10	11	12	11	12	12	12	101
O.	18	16	16	15	14	16	20	14	14	149
S. O.	56	60	54	55	53	51	52	54	54	485
S.	36	34	37	31	40	41	34	36	36	323
S. VV.	28	27	29	28	23	21	24	25	25	229
VV.	15	17	22	28	23	25	21	18	18	191
N. VV.	13	13	8	9	11	12	14	16	16	110

Februar.

	7h	9h	11h	1h	3h	5h	7h	9h	11h	Summe
N.	25	19	21	22	27	29	29	33	28	233
N. O.	22	28	27	23	20	18	21	19	19	197
O.	10	8	7	10	10	8	6	7	8	74
S. O.	33	35	41	39	38	39	39	40	37	341
S.	12	11	10	6	9	11	10	11	9	89
S. VV.	21	19	13	22	16	16	21	18	23	169
VV.	24	27	30	29	31	26	22	21	19	229
N. VV.	23	23	21	19	19	43	22	21	27	198

März.

	7h	9h	11h	1h	3h	5h	7h	9h	11h	Summe
N.	36	39	43	38	36	40	36	39	31	338
N. O.	25	29	27	24	27	29	31	30	29	251
O.	23	13	15	21	19	18	22	26	26	183
S O.	38	39	32	32	30	30	30	31	35	297
S.	9	10	18	11	12	11	9	6	7	93
S. VV.	15	17	10	15	14	11	9	9	9	109
VV.	15	17	20	18	18	17	17	16	17	155
N. VV.	25	22	21	27	30	30	32	29	32	248

April.

	7h	9h	11h	1h	3h	5h	7h	9h	11h	Summe
N.	42	40	32	38	47	46	51	44	46	386
N. O.	28	31	33	28	29	32	28	34	31	274
O.	17	12	16	16	19	17	16	17	17	147
S. O.	33	30	26	23	19	20	21	19	17	208
S.	12	18	20	19	18	10	15	17	20	149
S. VV.	16	17	12	12	11	20	17	16	15	136
VV.	17	16	20	23	15	14	14	14	17	150
N. VV.	15	16	21	21	22	21	18	19	17	170

Mai.

	7h	9h	11h	1h	3h	5h	7h	9h	11h	Summe
N.	28	30	26	26	27	34	33	34	32	270
N. O.	34	35	30	27	27	24	30	30	32	269
O.	17	13	19	23	22	24	23	23	21	185
S. O.	29	27	28	25	20	22	22	18	18	209
S.	20	25	18	21	21	15	15	18	18	171
S. VV	18	19	28	19	19	18	17	18	20	176
VV.	18	21	19	24	21	25	24	24	21	197
N. VV.	22	16	18	21	29	24	22	21	24	197

Juni.

	7h	9h	11h	1h	3h	5h	7h	9h	11h	Summe
N.	28	24	23	24	26	32	34	35	35	261
N. O.	18	20	18	18	16	16	18	19	18	161
O.	11	10	11	11	12	13	10	12	12	102
S. O.	24	28	27	26	20	19	20	13	12	189
S.	26	26	26	25	26	24	18	26	29	226
S. VV.	26	25	20	19	25	17	24	19	21	196
VV.	25	24	35	27	27	32	24	23	19	236
N. VV.	22	23	20	30	28	27	32	33	34	249

Juli

	7h	9h	11h	1h	3h	5h	7h	9h	11h	Summe
N.	15	16	14	15	22	24	29	27	25	187
N. O.	14	11	13	11	22	16	10	14	16	117
O.	7	8	8	10	9	10	15	13	10	90
S. O.	31	32	28	23	16	15	16	13	14	188
S.	23	19	21	24	17	13	10	13	13	153
S. VV.	32	33	28	25	27	24	26	27	29	251
VV.	26	35	38	38	38	34	33	33	34	309
N. VV.	38	32	36	40	45	50	47	46	45	379

August.

	7h	9h	11h	1h	3h	5h	7h	9h	11h	Summe
N.	38	36	34	36	39	40	48	48	45	364
N. O.	17	15	13	11	14	16	16	13	13	128
O.	10	8	12	10	10	12	13	14	13	102
S. O.	30	34	25	20	22	21	19	23	23	217
S.	21	20	25	21	18	15	18	17	21	176
S. VV.	23	23	26	22	20	29	23	21	20	207
VV.	25	27	23	34	28	23	22	22	25	229
N. VV.	22	23	28	32	35	30	27	28	26	251

September.

	7h	9h	11h	1h	3h	5h	7h	9h	11h	Summe
N.	18	21	15	19	23	21	20	22	22	181
N. O.	23	26	28	22	24	29	25	27	27	231
O.	20	13	14	19	14	12	14	16	15	137
S. O.	36	37	34	32	29	30	31	30	35	294
S.	26	30	29	25	24	15	18	19	17	203
S. W.	16	17	16	19	20	26	18	18	21	171
W.	27	23	27	30	34	24	27	24	26	242
N. W.	14	13	17	14	12	23	27	24	17	161

October.

	7h	9h	11h	1h	3h	5h	7h	9h	11h	Summe
N.	7	5	4	6	7	3	6	7	8	53
N. O.	11	12	11	11	13	18	15	12	14	117
O.	13	15	11	8	7	7	9	10	6	86
S. O.	65	64	66	59	57	56	56	65	60	548
S	33	37	32	32	34	32	37	27	35	299
S. W.	37	30	30	34	26	26	24	29	30	266
W.	13	18	24	28	28	27	23	22	24	207
N. W.	7	5	8	8	14	17	16	14	9	98

November.

	7h	9h	11h	1h	3h	5h	7h	9h	11h	Summe
N.	9	9	8	13	7	9	7	5	5	72
N. O.	24	28	23	23	28	29	26	30	30	241
O.	19	12	18	17	15	16	17	16	15	145
S. O.	66	73	67	65	67	66	68	67	65	604
S.	18	13	20	20	15	18	17	14	15	150
S. W.	14	14	10	13	15	14	14	12	13	119
W.	15	18	15	16	17	14	16	20	23	154
N. W.	15	13	19	13	16	14	15	16	14	135

December.

	7h	9h	11h	1h	3h	5h	7h	9h	11h	Summe
N.	8	5	5	5	6	7	7	5	4	58
N. O.	10	11	8	10	12	12	11	12	11	97
O.	9	8	11	9	6	7	8	7	6	71
S. O.	58	57	55	48	45	49	51	47	54	464
S.	34	36	33	37	39	38	38	39	39	333
S. W.	32	24	22	26	23	23	26	21	27	224
W.	20	29	37	33	34	32	29	38	30	282
N. W.	15	16	15	18	21	18	16	17	15	151

Ganzes Jahr.

	7h	9h	11h	1h	3h	5h	7h	9h	11h	Summe
N.	263	252	235	251	277	294	309	310	292	2483
N O.	237	257	241	219	234	250	243	251	252	2184
O.	174	136	158	169	157	160	173	181	163	1471
S. O.	499	516	483	447	416	418	425	416	424	4044
S.	270	279	289	272	273	243	239	241	259	2365
S. W.	278	265	244	254	239	245	243	232	253	2253
W.	240	272	310	328	314	293	272	279	273	2581
N. W.	231	215	232	252	282	289	288	282	276	2347

Hieraus erhält man folgende mittlere Windrichtung:

Monat	7h M.	9h	11h	1h	3h	5h	7h	9h	11h	Mittel
Januar	S. 17° O.	S 16° O.	S. 10° O.	S. 6° O.	S. 11° O.	S. 10° O	S. 16° O.	S. 13° O.	S. 13° O.	S. 13° O.
Februar	N. 43 W.	N. 35 W.	N. 9 O.	N. 58 W.	N. 33 W.	N. 33 W.	N. 30 W.	N. 6 O.	N. 37 W.	N. 28 W.
März	N. 44 O.	N. 33 O.	N. 27 O.	N. 23 O.	N. 17 O.	N. 18 O.	N. 23 O.	N. 29 O.	N. 35 O.	N. 28 O.
April	N. 39 O.	N. 36 O.	N. 31 O.	N. 11 O.	N. 18 O.	N. 13 O.	N. 16 O.	N. 22 O.	N. 17 O.	N. 21 O.
Mai	N. 47 O.	N. 52 O.	N. 74 O.	N. 44 O.	N. 3 O.	N. 4 O.	N. 17 O.	N. 11 O.	N. 9 O.	N. 22 O.
Juni	S. 74 W.	S. 57 W.	S. 65 W.	N. 85 W.	S. 87 W.	N. 63 W.	N. 53 W.	N. 47 W.	N. 52 W.	N. 75 W.
Juli	S. 67 W.	S. 66 W.	S. 75 W.	S. 82 W.	N. 76 W.	N. 61 W.	N. 60 W.	N. 62 W.	N. 66 W.	N. 81 W.
August	N. 63 W.	N. 81 W.	N. 85 W.	N. 69 W.	N. 50 W.	N. 50 W.	N. 33 W.	N. 31 W.	N. 42 W.	N. 53 W.
September	S. 36 O.	S. 34 O.	S. 23 O.	S. 13 O.	S. 27 W.	N. 57 W.	N. 52 W.	N. 27 O.	S. 60 O.	S. 23 O.
October	S. 15 O.	S. 17 O.	S. 10 O	S. 1 W.	S. 1 O.	S. 2 O.	S. 7 O.	N. 10 O.	S. 5 O.	S. 8 O.
November	S. 51 O.	S. 52 O.	S 51 O	S. 51 O	S. 51 O.	S. 54 O.	S. 50 O.	S. 54 O.	S. 50 O.	S. 52 O.
December	S. 3 O.	S. 1 W.	S. 7 W.	S. 12 W.	S. 18 W.	S. 10 W.	S. 6 W.	S. 15 W.	S. 6 W.	S. 8 W.
Jahr	S. 23 O.	S. 16 O.	S. 6 O.	S. 14 W.	S. 35 W.	S. 46 W.	S. 4 W.	S. 40 O.	S. 5 W.	S. 2 O.

Die täglichen Schwankungen betragen also in Graden der Windrose, im:

Januar	=	11°
Februar	=	67°
März	=	27°
April	=	28°
Mai	=	71°
Juni	=	76°
Juli	=	54°
August	=	54°
September	=	267°
October	=	18°
November	=	4°
December	=	21°
und im Mittel aller sechs Jahre	=	86°

Die gröfste Abweichung zeigt sich hier im September: sie ist aber offenbar anomal — eben so die des Februar. Sieht man davon ab, so findet man vom Winter zum Sommer eine so deutlich hervortretende Zunahme, und vom Sommer zum Winter wiederum eine so bestimmte Abnahme der Schwankungen, dafs man auch einen Einflufs der Jahreszeiten anerkennen mufs. Es ist deshalb wahrscheinlich, dafs *die Ursache des Phänomens in der Erwärmung durch die Sonne zu suchen sey* und dasselbe, mit der dadurch veranlafsten aufsteigenden Strömung, (welche zur Erklärung des seitlichen Druckes wirbelartig zu denken ist), in genauem Zusammenhange stehe.

Da eine graphische Darstellung die Einsicht in die Natur der Erscheinung sehr erleichtert, so habe ich nach den obigen Monats- und Jahresmitteln die betreffenden Windcurven gezeichnet, theile hier aber nur in Fig. 6 Taf. III die Jahrescurve mit, weil ich sonst ungebührlich viel Raum in Anspruch nehmen müfste. Die Betrachtung derselben zeigt, dafs die Ablenkung der Windfahne von Morgens 7^h bis Nachmittags 5^h in der Richtung nach Westen vor sich geht, dafs dann eine rückschreitende Bewegung eintritt, welche um 9^h Abends ihr östliches Maximum erreicht und von da

an wieder westlich wird, um vielleicht gegen Morgen abermals nach Osten zurückzukehren. In dem Verhalten der Monatscurven finden sich dagegen manche Verschiedenheiten; doch ist auch hier bei der Mehrzahl eine, mit der Höhe des Tages zunehmende westliche Abweichung und dabei ein Verschieben der Stunden gröfster Abweichung in der Winter- und Sommerzeit nicht zu verkennen.

Die auffallenden Schwankungen in den Monaten Februar und September deuten auf Störungen, welche selbst das sechsjährige Mittel nicht hat verwischen können. Ob sie daher rühren, dafs um diese Zeit wesentliche Aenderungen in der Erwärmung der Atmosphäre vor sich gehen, und in Folge davon, die grofsen Strömungen der Luft sich ein anderes Bett suchen, lasse ich dahin gestellt. Es wird diefs wenigstens wahrscheinlich, wenn man die Vertheilung der Winde in den Jahreszeiten überblickt, wie sie die Windrose in Fig. 2 Taf. III zeigt. Man ersieht daraus, dafs die Richtung der Winde in den drei Frühlingsmonaten gleichmäfsig nordöstlich und in den drei Sommermonaten ebenso übereinstimmend nordwestlich ist; im September beginnt dann der Uebergang in die südliche und südöstliche Richtung, worin der Wind während des Herbstes und Winters beharrt bis zum Februar, um nun plötzlich die bedeutende Schwankung nach NW zu machen. Doch diese, wie einige andere Eigenthümlichkeiten werden sich erst genügend erklären lassen, wenn eine gröfsere Zahl genauer Beobachtungen vorliegt, wie dann auch die Curve der täglichen Schwankungen und namentlich die Feststellung der Wendestunden erst aus einer gröfseren Beobachtungsreihe mit Sicherheit abgeleitet werden kann. Auch würden die vorliegenden Resultate bereits werthvoller seyn, wenn statt 8 wenigstens 16 Winde oder selbst noch kleinere Winkel verzeichnet wären. Im Vergleich zu der Sorgfalt, womit die übrigen meteorologischen Beobachtungen angestellt werden, sind die bisherigen Messungen des Windes roh zu nennen und eine Verbesserung der Methode möchte wohl wünschenswerth seyn. — Ich würde mich freuen, wenn die

vorstehenden Zeilen hierzu Anregung geben und auch Andere veranlassen würden, dem Gegenstande ihre Aufmerksamkeit zuzuwenden.

X. *Ueber einige Eigenschaften der linearen Verzweigung galvanischer Ströme; von J. Bosscha.*

1. Die von Hrn. Kirchhoff gegebenen allgemeinen Gleichungen zur Bestimmung der Intensitäten von Strömen in einem System von irgend welchen linearen Leitern, die irgend welche elektromotorische Kräfte enthalten, führen nicht nur auf eine sichere und leichte Weise zur Lösung von oft sehr verwickelten Problemen, sondern erlauben auch, einige Gesetze der linearen Verzweigung galvanischer Ströme zu entdecken, welche in mehren Fällen die Rechnung bedeutend vereinfachen. Eine dieser Eigenschaften, auf die wir weiterhin (unter No. 9) zurückkommen werden, ist schon von Hrn. Kirchhoff selber bewiesen worden; eine andere habe ich beiläufig angezeigt in einem Auszuge eines Briefes an den Hrn. Herausgeber dieser Annalen, in welchem ich von den Methoden zur Bestimmung elektromotorischer Kräfte handelte [1]). Da es besonders diese letztere ist, die zu beträchtlichen Vereinfachungen führen kann, so beabsichtige ich in gegenwärtiger Mittheilung etwas ausführlicher auf sie zurückzukommen, die daraus folgenden Theorien zu entwickeln, und deren Anwendung an einigen Beispielen nachzuweisen.

2. Die Eigenschaft, um welche es sich handelt, ist im folgenden Theorem enthalten:

Theorem I. Wenn in einem System von irgend welchen Leitern, die irgend welche elektromotorische Kräfte enthalten, sich ein Leiter a befindet, in dem die Intensität $= 0$ ist, so ändert sich an den Intensitäten der Ströme in den

1) Pogg. Ann. Bd. 94, S. 175.

übrigen Leitern nichts, wenn man den Leiter a durchschneidet oder ihn mit der etwa darin befindlichen elektromotorischen Kraft aus dem Systeme fortnimmt.

Diese Eigenschaft ist eine direkte Folge der Form der Gleichungen des Hrn. Kirchhoff. Denn die Gleichungen, welche, wie dieser Physiker bewiesen hat, zur Bestimmung der Strom-Intensität in jedem dieser Leiter genügen, sind alle von einer dieser beiden Formen:

$$\Sigma(i) = 0 \ , \ \Sigma_{,}(ir - k) = 0 \quad . \quad . \quad . \quad (A)$$

in welchem i die Intensität des Stroms, r der Widerstand und k die elektromotorische Kraft in einem der Leiter bezeichnet. Die erste Summe bezieht sich auf alle Leiter, die sich in einem selben Kreuzpunkte begegnen, die zweite auf alle die, welche eine geschlossene Figur in dem Systeme bilden. Beim bloßen Anblick ersieht man aus diesen Formeln, daß der Werth von r nur dann in die Gleichungen, welche die Strom-Intensitäten bedingen, eintritt, wenn er mit i multiplicirt ist. Sobald also $i = 0$ ist, und demgemäß das Produkt ir verschwindet, sind die Intensitäten in den übrigen Leitern unabhängig von r. Man kann also diesen Leiter in seinem Widerstand verändern, ihn durchschneiden oder ganz fortnehmen, ohne dadurch irgend etwas an den Intensitäten in den übrigen Leitern zu ändern. Man könnte zweifeln, ob dieß letztere Verfahren erlaubt sey, weil in dem Fall, daß man gleichzeitig habe $i = 0$ und $r = \infty$, das Produkt ir die unbestimmte Form $\frac{0}{0}$ annimmt. Indeß, da die Endgleichungen, zu welchen die Lösung der Gleichungen (A) führt, immer erlauben, den Werth von i vorzustellen durch die Formel

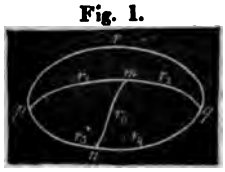
$$i = \frac{K - k}{R + r}$$

in welcher K, k und R unabhängig von r sind, und folglich der Werth von ir sich für $r = \infty$ reducirt auf $K - k$, welches immer $= 0$ seyn muß, damit $i = 0$ sey, so erkennt man, daß das Produkt ir sich immer aus den Gleichungen (A) eliminirt befindet, wenn der Strom in r verschwindet.

3. Dieses Theorem gestattet eine bedeutende Verein-

fachung der Lösung aller der Probleme, in welchen es sich darum handelt, die Strom-Intensität in einem der Leiter zu berechnen, welche Theile eines Systems ausmachen, das einen anderen einschliefst, in welchem die Strom-Intensität $= 0$ ist. Diefs ist z. B. der Fall, wenn man die Strom-Intensität in einem der Leiter derjenigen Vorrichtung finden soll, die bei Hrn Wheatstone's Differentialmethode zur Messung von Widerständen angewendet wird.

Fig. 1.



Wenn der Strom, der durch einen in r befindlichen Rheomotor erzeugt wird, Null ist in dem Leiter r_0, so kann man durch Anwendung des vorhergehenden Theorems, d. h. durch Fortnahme des Leiters r_0, die Strom-Intensität mittelst der einfachen Ohm'schen Gesetze in jedem der übrigen Leiter sehr leicht finden. So erhält man die Intensität in r:

$$i = \frac{e(r_1+r_2+r_3+r_4)}{r(r_1+r_2+r_3+r_4)+(r_1+r_2)(r_3+r_4)} \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

wenn e die elektromotorische Kraft des Rheomotors bezeichnet. Zu derselben Gleichung gelangt man, wenn man in den von Hrn. Kirchhoff und Hrn. Weber gefundenen Formeln [1]) die bekannte Bedingung $r_1 r_4 = r_2 r_3$ einführt, welche erfüllt seyn mufs, damit $i = 0$ sey.

4. Ein anderes Beispiel zeigt sich, wenn drei Leiter r, r_1, r_2, welche die elektromotorischen Kräfte e, e_1, e_2 enthalten, wie in nebenstehender Figur angeordnet, und die elektromotorischen Kräfte gegen denselben Kreuzpunkt m gerichtet sind. In jedem dieser Leiter kann der Strom Null werden. Gesetzt es sey in r_1. Da nach Fortnahme dieses Leiters nur eine einfache Kette übrig bleibt, so liefert die Anwendung des Theorems für die Intensitäten in r und r_2 dieselben Gleichungen, nämlich:

Fig. 2.

$$i = i_2 = \frac{e-e_2}{r+r_2}$$

wenn man die Richtung des Stroms in r als positiv nimmt

1) Pogg. Ann. Bd. 67, S. 273.

5. *Theorem II. Wenn in irgend einem Systeme von linearen Leitern, die irgend welche elektromotorischen Kräfte enthalten, sich ein Leiter a befindet, der keine elektromotorische Kraft enthält, und in welchem die Strom-Intensität* $= 0$ *ist, so werden die Strom-Intensitäten in den übrigen Leitern nicht geändert, wenn man, nach Fortnahme des Leiters, a die Punkte m und n, in welche dieser Leiter auslief, direkt verbindet.*

Im Fall der Leiter a eine elektromotorische Kraft e enthält, ändert dasselbe Verfahren nichts an den Intensitäten, sobald man eine e gleiche und in demselben Sinn gerichtete elektromotorische Kraft hinzufügt, entweder in allen im Punkt m endigenden Leitern oder in denen, die sich im Punkt n treffen.

Der Beweis des ersten Theiles dieses Theorems ist in dem des vorhergehenden mit enthalten. Da Hrn. Kirchhoffs Gleichungen unabhängig sind von dem Widerstande des einen Leiters, in welchem die Strom-Intensität $= 0$ ist, so werden die Intensitäten in den übrigen Leitern nicht geändert, wenn man $r = 0$ nimmt, was offenbar darauf zurückkommt, die Punkte m und n, in welche der Leiter a vom Widerstande r verläuft, miteinander zu vereinigen.

Wenn sich in diesem Leiter eine elektromotorische Kraft befindet, so mufs man sie in Rechnung ziehen, weil, wenn das Produkt ir in Hrn. Kirchhoff's Gleichungen verschwindet, der Einfluſs von k, welches sich nicht eliminirt findet, keinesweges vernichtet ist. Dieſs war in dem vorhergehenden Theorem nicht der Fall, weil offenbar, wenn man $r = \infty$ setzt, d. h. wenn man diesen Leiter durchschneidet, aller Einfluſs von k auf die Intensitäten in den übrigen Leitern vernichtet ist. Davon kann man sich auch überzeugen, wenn man erwägt, daſs in den Endgleichungen, zu welchen die Auflösung der Gleichungen (A) führt, die elektromotorische Kraft k des Leiters, dessen Widerstand r ist, sich im Nenner des Ausdrucks für die Intensitäten multiplicirt findet mit einem im Allgemeinen polynomen Coëfficienten, welcher niemals den Widerstand r enthält.

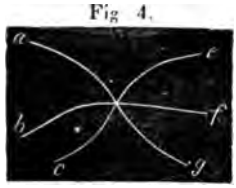
Da nun r ein Factor eines oder mehrer Glieder des Nenners ist, so erkennt man leicht, dafs der von der elektromotorischen Kraft k herrührende Theil des Stroms Null ist, wenn r unendlich ist, was nicht der Fall ist bei den übrigen elektromotorischen Kräften, deren polynome Coëfficienten Glieder enthalten können, in welche r als Factor eintritt.

Weil also k nicht eliminirt ist aus den Gleichungen, die man bildete, als man die geschlossenen, r enthaltenden Figuren des Systems betrachtete, so mufs man, nachdem die Punkte m und n vereinigt worden, es so einrichten, dafs man, wenn man die Gleichungen $\Sigma\,(i\,r - k) = 0$ in der modificirten Figur componirt, dadurch zu denselben Gleichungen geführt wird, welche entstehen würden, wenn man die primitive Figur betrachtete und in diesen Gleichungen blofs $r = 0$ setzte. Dahin gelangt man, wenn man die elektromotorische Kraft k in die Leiter versetzt, welche in einem der beiden Punkte m oder n endigen.

Fig 3.

In der That sey in Fig. 3. r der Leiter, in welchem $i = 0$ ist; seyen a, b, c diejenigen, welche im Punkte m endigen, e, f, g die, welche sich in n kreuzen, so ist klar, dafs alle geschlossenen Figuren, welche in dem ursprünglichen Systeme sich befänden und r enthielten, durch einen der Leiter a, b, c gehen müssen. Wenn man also die elektromotorische Kraft des Leiters r in jeden der im Punkte m endigenden Leiter a, b, c versetzt hat, so würden die Gleichungen, welche man bildete, wenn man in dem modificirten Systeme alle geschlossenen Figuren betrachtete, die einerseits einen der Leiter a, b, c, und andererseits einen der in n zusammentreffenden, nämlich e, f oder g enthalten, nur durch Auslassung des Gliedes $i\,r$ von denen abweichen, zu welchen die Fig. 3 führt. Die

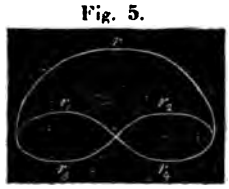
Fig 4.



Gleichungen, welche man bilden kann für die geschlossenen Figuren, welche zwei der in der ursprünglichen Figur im selben Punkt endigenden Leiter a, b, c enthalten, werden durch Hinzufügung der Kraft k in jedem derselben nicht geändert, weil man, wenn man die Figur nach Angabe des Hrn. Kirchhoff durchläuft, diese elektromotorische Kraft in den beiden Leitern in entgegengesetzter Richtung antrifft. Schliefsen wir daraus, dafs man bei Bildung der auf die geschlossenen Figuren des modificirten Systems bezüglichen Gleichungen den Einflufs der elektromotorischen Kraft k in Rechnung ziehen wird, wenn man sie entweder in die im Punkt m endigenden oder in die in n zusammentreffenden Leiter versetzt annimmt.

6. Die Vorrichtung des Hrn. Wheatstone liefert uns ein Beispiel von der Anwendung des ersten Theiles dieses Theorems. Vereinigt man in Fig. 1. die Punkte m und n, so erhält man Fig. 5. Man kann also die Intensitäten in jedem dieser Leiter, z. B. in r, mittelst der einfachen Ohm'schen Formeln berechnen. Man findet:

Fig. 5.



$$i = \frac{e}{r + \frac{r_1 r_3}{r_1 + r_3} + \frac{r_2 r_4}{r_2 + r_4}} \quad \ldots \quad (c)$$

Durch Anwendung des Theorems I. erhielten wir in §. 3 die Gleichung (a):

$$i = \frac{e(r_1 + r_2 + r_3 + r_4)}{r(r_1 + r_2 + r_3 + r_4) + (r_1 + r_2)(r_3 + r_4)}$$

Diese beiden Ausdrücke müssen identisch seyn. Multiplicirt man Zähler und Nenner des ersteren mit $r_1 + r_2 + r_3 + r_4$, so findet man, dafs die Identität dieser beiden Formeln erfordert, dafs man habe:

$$r_1 r_3 \left\{\frac{r_2 + r_4}{r_1 + r_3}\right\} + r_2 r_4 \left\{\frac{r_1 + r_3}{r_2 + r_4}\right\} = r_2 r_3 + r_1 r_4 \quad \ldots \quad (d)$$

Diese Gleichung läfst sich auf folgende zurückführen:

$$(r_1 r_4 - r_2 r_3)^2 = 0 \quad \ldots \quad (e)$$

mithin

$$r_1 r_4 = r_2 r_3$$

was die bekannte Bedingungsgleichung ist, damit $i_0 = 0$ sey.

7. Der zweite Theil des Theorems II läfst sich anwenden auf die Anordnung in §. 4, bei welcher wir $i_1 = 0$ annahmen. Nach unserem Theorem mufs man die elektromotorische Kraft e_1 in r und r_2 versetzen. Vereinigt man alsdann die Punkte m und n, so bildet das System zwei geschlossene Bahnen, die sich nur in einem Punkt berühren.

Die Intensität ist also in r:

$$i = \frac{e - e_1}{r} \quad . \quad . \quad . \quad (f)$$

und in r_2

$$i_2 = \frac{e_1 - e_2}{r_2} \quad . \quad . \quad . \quad (g)$$

wenn man in r_2 den Strom als positiv betrachtet, der im ursprünglichen System von m nach n gerichtet ist.

Im §. 4 erhielten wir Gleichung (b)

$$i = i_2 = \frac{e - e_2}{r + r_2}$$

bei Combination dieser entweder mit (f) oder mit (g) ersieht man, dafs man, damit sie identisch seyen, setzen mufs:

$$e_1 (r + r_2) - e r_2 - e_2 r = 0 \quad . \quad . \quad . \quad (h)$$

Berechnet man aber mittelst der Kirchhoff'schen Formeln die Intensität in r_1, in der ursprünglichen Figur, so erhält man:

$$i_1 = \frac{e_1 (r + r_2) - e r_2 - e_2 r}{r r_1 + r r_2 + r_1 r_2}$$

Die Gleichung (h) ist also die Bedingungsgleichung, damit $i_1 = 0$ sey.

8. Als allgemeinen Satz kann man hinstellen, dafs *die Anwendung der beiden Theoreme I und II zu verschiedenen Ausdrücken für die nämliche Intensität führen, und dafs die Gleichsetzung dieser beiden Ausdrücke die Bedingungsgleichung liefern wird, welcher genügt seyn mufs, damit die in den beiden Theoremen angenommene Hypothese, nämlich dafs die Intensität des Stroms in einem der Leiter = 0 sey, erfüllt werde.*

9. *Theorem III. In irgend einem Systeme von linearen Leitern, die irgend welche elektromotorische Kräfte enthalten, wird die Strom-Intensität, erzeugt in einem der Leiter a durch eine in einem anderen b befindliche elektromotorische Kraft, gleich seyn der, welche in b durch eine in a vorhandene gleiche elektromotorische Kraft hervorgebracht werden würde.*

Diese Eigenschaft der Verzweigung galvanischer Ströme, auf welche wir in §. 1 anspielten, ist von Hrn. Kirchhoff in diesen Ann. Bd. LXXII, S. 507 und 508 bewiesen worden. Wir nehmen sie hier wieder auf, weil sie uns zum Erweise der folgenden Theoreme dienen soll. Aus diesem Theorem kann man die wichtige Folgerung ableiten, dafs wenn sich in einem Systeme von linearen Leitern ein Leiter a befindet, in welchem die Strom-Intensität unabhängig ist von der in b vorhandenen elektromotorischen Kraft, dann umgekehrt die Intensität in b unabhängig seyn wird von der in a befindlichen elektromotorischen Kraft.

Wenn mithin bei der Vorrichtung des Hrn. Wheatstone irgend ein in r angebrachter Rheomotor keinen Strom in r_0 erzeugt, so wird umgekehrt ein in r_0 versetzter Rheomotor keinen Strom in r erzeugen.

10. *Theorem* IV. *Wenn sich in irgend einem System von linearen Leitern, zwei Leiter a und b befinden, der Art, dafs eine in dem einen a befindliche elektromotorische Kraft keinen Strom in dem anderen b erzeugt, so verändert sich nichts an der Intensität des Stromes in b, wenn man den Leiter a durchschneidet oder fortnimmt, eben so wenig an der Intensität in a, wenn man den Leiter b durchschneidet oder fortnimmt, wie auch die elektromotorischen Kräfte in den übrigen Leitern seyn mögen.*

Es reicht hin zu beweisen, dafs sich die Intensität in b nicht ändert, wenn man a durchschneidet oder fortnimmt, weil, nach der Folgerung aus dem vorhergehenden Theorem wenn ein Rheomotor in a keinen Strom in b erzeugt, ein anderer in b angebrachter keinen in a hervorbringen wird. Der

Beweis des zweiten Theils des Theorems ist also in dem des ersten mitenthalten.

Um dieses Theorem zu beweisen, bemerken wir, dafs die Endgleichungen, zu welchen die Lösung der Kirchhoff'schen Gleichungen (*A*) führt, immer von der Form sind

$$\left.\begin{aligned} i &= \frac{ak + a_1k_1 + a_2k_2 + a_3k_3 \ldots + a_nk_n}{N} \\ i_1 &= \frac{a'k + a'_1k_1 + a'_2k_2 + a'_3k_3 \ldots + a'_nk_n}{N} \\ i_2 &= \frac{a''k + a''_1k_1 + a''_2k_2 + a''_3k_3 \ldots + a''_nk_n}{N} \\ i_3 &= \frac{a'''k + a'''_1k_1 + a'''_2k_2 + a'''_3k'''_3 \ldots + a'''_nk_n}{N} \\ i_n &= \text{etc.} \end{aligned}\right\} (B)$$

in welchen N, a, a_1, a_2, ... a', a'_1, a'_2, ... etc. Functionen von Widerständen sind.

Der Theil des Stromes i, welcher von der elektromotorischen Kraft k_1 herrührt, ist also:

$$\frac{a_1k_1}{N}$$

Der des Stromes i_1, erzeugt durch k, ist

$$\frac{a'k}{N}$$

Nach Hrn. Kirchhoff's Theorem (§. 9) mufs man, wie auch K seyn möge, haben

$$\frac{a_1K}{N} = \frac{a'K}{N}$$

oder

$$a_1 = a'$$

Auf dieselbe Weise fände man $a_2 = a''$. Die Anwendung des Theorems III liefert also folgende Gleichungen:

$$\left.\begin{array}{llllll} a_1 = a' & a'_2 = a_1'' & a_3'' = a_2''' & a_4''' = a_3'''' & \text{etc.} \\ a_2 = a'' & a'_3 = a_1''' & a_4'' = a_2'''' & \text{etc.} & & \\ a_3 = a''' & a'_4 = a_1'''' & \text{etc.} & & & \\ a_4 = a'''' & \text{etc.} & & & & \\ \text{etc.} & & & & & \end{array}\right\} (C)$$

Nehmen wir an, zur Fixirung der Ideen, dafs eine in r_3 angebrachte Kraft keinen Strom in r erzeuge. Es handelt sich dann darum zu beweisen, dafs, wie auch die elektromotorischen Kräfte in den übrigen Theilen des Systems seyen, die Intensität des Stromes in r sich nicht ändern werde, wenn man r_3 durchschneidet oder fortnimmt. Nach der Folgerung aus dem Theorem III wird die in r befindliche elektromotorische Kraft k keinen Strom in r_3 hervorbringen. Gesetzt die elektromotorische Kraft k sey die einzige, welche sich in dem System befinde. In diesem Fall würde der Strom in r_3 offenbar $= 0$ seyn, und die Strom-Intensitäten in den übrigen Leitern wären einfach:

$$i = \frac{ak}{N}$$
$$i_1 = \frac{a'k}{N}$$
$$i_2 = \frac{a''k}{N}$$
$$i_3 = \frac{a'''k}{N}$$

etc.

Allein nach dem Theorem I könnte man den Leiter r_3 durchschneiden oder fortnehmen, ohne dadurch irgend etwas an diesen Intensitäten zu ändern. Es müssen also die Werthe $\frac{a}{N}$, $\frac{a'}{N}$, $\frac{a''}{N}$, etc., welche nur Functionen von Widerständen sind, von r_3 unabhängig seyn. Nach den Gleichungen (*C*) mufs diefs auch der Fall seyn für die Werthe $\frac{a_1}{N}$, $\frac{a_2}{N}$ etc. Aber $\frac{a}{N}$, $\frac{a_1}{N}$, $\frac{a_2}{N}$, etc. sind die Coëfficienten der elektromotorischen Kräfte k, k_1, k_2, etc. in der allgemeinen Formel für die Intensität in r. Daraus schliefst man, dafs diese Intensität unabhängig ist von r_3.

11. Ein Beispiel dieser Eigenschaft liefert die Vorrichtung, welche Hr. Rijke zur Messung der Extra-Ströme mittelst des Weber'schen Dynamometers angewandt hat [1]). Die Leiter waren angeordnet wie in der Fig. 1 S. 461. Die Inductionsrolle befand sich in r_1, das Dynamometer in r_0, der

1) Pogg. Ann. Bd. 102, S. 498.

Rheomotor in r. Um die durch die Extra-Ströme bewirkten Ablenkungen des Dynamometers gehörig beobachten zu können, war nothwendig, dafs dieſs Instrument nicht von dem Strom des in r angebrachten Rheomotors afficirt wurde. Damit überdieſs die Ablenkungen des Dynamometers ein vergleichbares Maafs für die lebendigen Kräfte der beiden, beim Oeffnen und Schlieſsen der Kette in r, erzeugten Extraströme gäben, mufste ein Strom in r_0, der von einer in r_1 befindlichen elektromotorischen Kraft herrührte, unverändert bleiben, mochte der Leiter r unterbrochen oder geschlossen werden. Hr. Rijke hat bewiesen, indem er mittelst der Kirchhoff'schen Formeln die Intensität berechnete, welche in r_0 erzeugt wird, wenn eine elektromotorische Kraft in r und eine andere in r_1 vorhanden ist, dafs, wenn bei der von ihm angewandten Vorrichtung die erste Bedingung erfüllt worden, es auch die zweite ist.

Nach dem eben von uns bewiesenen Theorem wäre dieſs noch der Fall, wenn sich elektromotorische Kräfte in r_2, r_3, r_4 befänden. Ueberhaupt werden in irgend einem System von Leitern die beiden Bedingungen immer gleichzeitig erfüllt seyn.

12. Wenn wir unser Theorem auf die Berechnung der Intensitäten, erzeugt in r_0 durch die in r, r_1 befindlichen elektromotorischen Kräfte e, e_1, anwenden, so können wir im Fall, dafs e keinen Strom in r_0 bewirkt, den Leiter r durchschneiden. Die Berechnung der Intensität in r_0 reducirt sich dann auf die Anwendung der bekannten Ohm'schen Gesetze. Man erhält somit:

$$i_0 = \frac{e_1(e_2+e_3)}{r_0(r_1+r_2+r_3+r_4)+(r_1+r_3)(r_2+r_4)} \quad \ldots (i)$$

Multiplicirt man Zähler und Nenner des zweiten Gliedes dieser Gleichung durch $\frac{r_2}{r_2+r_4}$ und erwägt, dafs

$$r_1 r_4 = r_2 r_3$$

so findet man leicht:

$$i_0 = \frac{e_1 r_2}{r_0(r_1+r_2)+r_2(r_1+r_3)} \quad \ldots (k)$$

was die Gleichung ist, zu welcher Hr. Rijke durch Anwendung der Kirchhoff'schen Formeln gelangt ist.

13. *Theorem* V. *Wenn in irgend einem System von linearen Leitern sich zwei Leiter a und b befinden, der Art, dafs eine in a angebrachte elektromotorische Kraft keinen Strom in b erzeugt, so wird die Strom-Intensität in b nicht geändert, wenn man, nach Fortnahme des Leiters a, die Punkte m und n, in denen dieser endigte, direct vereinigt, wie auch die elektromotorischen Kräfte in den übrigen Leitern beschaffen seyn mögen. Umgekehrt wird die Stromintensität in a nicht geändert, wenn man dasselbe Verfahren auf den Leiter b anwendet.*

Nach der Bemerkung, die dem Beweise des Theorems IV vorangeht, ist der Beweis des zweiten Theils dieses Theorems in dem des ersten eingeschlossen.

Der Beweis des Theorems IV gilt auch für dieses. Da der Strom in b unabhängig ist von dem Widerstand in a, so kann man diesen $= 0$ setzen, d. h. die Punkte m und n direkt verbinden, ohne dadurch etwas an der Intensität in b zu ändern. Die elektromotorische Kraft des fortgenommenen Leiters, welche in einem diesem (dem Theorem II) analogen Fall in die benachbarten Leiter verlegt werden mufste, findet sich in dem Ausdruck für die Intensität in b eliminirt, weil offenbar sein Coëfficient $= 0$ ist.

14. Bei der von Hrn. Rijke angewandten Vorrichtung kann man auch die Intensität i_0 berechnen, wenn man das System so ändert, dafs der Leiter r fortgenommen ist und die Punkte p und q sich berühren. Das System nimmt alsdann die Form der Fig. 6 an und die Intensität kann nach den Ohm'schen Gesetzen berechnet werden. Da indefs die Rechnung für diesen Fall nicht anders als etwas verwickelt seyn kann, so ist es wichtig ihn möglichst zu vereinfachen. Man gelangt dahin, wenn man, statt die in r_0 durch eine in r_1 befindliche elektromotorische Kraft e_1 erzeugte Intensität zu berechnen, diejenige berechnet, welche in r_1 erzeugt wird durch die

Fig. 6.

in r_0 angebrachte elektromotorische Kraft e_1. Nach dem Theorem III (dem Kirchhoff'schen) werden diese Intensitäten gleich seyn.

Es handelt sich also darum, bei der Vorrichtung der Fig. 7. Fig. 7 zu berechnen, welche Intensität in r_1 durch eine in r_0 befindliche elektromotorische Kraft e_1 erzeugt wird. So findet man leicht für den gesuchten Werth des Stromes i_0:

$$i_0 = \frac{r_2}{r_1+r_2} \cdot \frac{e_1}{r_0+\frac{r_1 r_2}{r_1+r_2}+\frac{r_3 r_4}{r_3+r_4}} \quad \ldots\ldots (l)$$

Diese Gleichung läfst sich unter die Form bringen:

$$i_0 = \frac{e_1(r_2+r_4)}{r_0\left(r_1+r_2+\frac{r_1 r_4}{r_3}+r_4\right)+(r_2+r_4)\left[r_1+r_3\left(\frac{\frac{r_4 r_1}{r_3}+r_4}{r_3+r_4}\right)\right]}.$$

Durch Anwendung des Theorems IV fanden wir in §. 12 für dieselbe Intensität die Gleichung (i)

$$i_0 = \frac{e_1(r_2+r_4)}{r_0(r_1+r_2+r_3+r_4)+(r_2+r_4)(r_1+r_3)}$$

Diese beiden letzten werden identisch seyn, wenn man hat

$$\frac{r_1 r_4}{r_2} = r_3$$

welche Gleichung die Bedingung ausdrückt, damit ein Rheomotor in r keinen Strom in r_0 hervorbringe.

15. Ueberhaupt *wird die Anwendung der beiden Theoreme* IV *und* V *zu verschiedenen Ausdrücken für die nämliche Intensität führen, und die Gleichsetzung dieser Ausdrücke wird die Bedingungsgleichung liefern, welcher genügt seyn mufs, damit die in den beiden Theoremen angenommene Hypothese, nämlich, dafs der durch die in a befindliche elektromotorische Kraft entspringende Strom in b Null sey, erfüllt werde.*

Leiden den 26. März 1858.

XI. *Ueber die Rinden der Meteorsteine; vom Freiherrn von Reichenbach.*

V.

In meiner letzten Mittheilung (IV) [1]) ist auseinandergesetzt, welche Beschaffenheiten der Rinde der Meteor*eisenmassen* zukommen, heute wünsche ich eine Betrachtung über die der Meteor*steine* folgen zu lassen. Wenn gleich beiderlei Aërolithe vollständig in einander übergehen und nicht scharf getrennt werden können, so treten doch da, wo die eine oder die andere Substanz vorherrschend oder allein vorhanden ist, Verschiedenheiten in der Beschaffenheit der Rinde auf, die erheblich genug sind, um genauere Untersuchung zu heischen.

Jedermann weifs, woher diese Rinden in der Regel rühren, nämlich von dem mit Feuererscheinungen und Hitze begleiteten Durchgange der Meteoriten durch unsere Atmosphäre. In meiner letzten Abhandlung habe ich gezeigt, dafs eine grofse Anzahl der Eisenmassen, alle nämlich, welche wir auf dem Erdboden aus alter Zeit auffinden, davon eine Ausnahme machen, und keine *Brandrinde*, sondern eine *Rostrinde* späterer Entstehung tragen. Dieses Gesetz nun gilt auch für die Meteorsteine, nur in einem weit eingeschränkteren Maafsstabe. Wir besitzen nämlich nur zwei Meteor*steine*, welche auf dem Erdboden zufällig gefunden und als vor unvordenklichen Zeiten niedergefallen erkannt worden sind, und diefs sind der in so vielfachem Betrachte eigenthümliche und merkwürdige Meteorit von Hainholz, und die Pallasische Masse. Diefs sind die einzigen Luftsteine denen die schwarze schlackige Rinde fehlt; welche alle jene überzieht, die man bei ihrem Niederfalle erblickt, und dann vom Boden aufgelesen hat. Ich habe früher gezeigt, dafs der *Hainholz* der *eisenreichste* Meteor*stein* ist,

1) Diese Ann. Bd. CIII, S. 637.

den wir kennen, dafs in ihm ganze Kugeln von Haselnufsgröfse vorkommen, die aus gediegenem Metalle bestehen, und dafs er somit in der Reihe der Meteoriten eine Stelle einnimmt, die auf dem Uebergange von Steinen zu Eisenmassen liegt. Dem Charakter, der ihm hiedurch aufgedrückt ist, bleibt er nun auch in seiner Rinde treu. Unsere gewöhnlichen Meteorsteine, voll kleiner Schwefeleisenkrystalle und meist ziemlich locker von Gefüge, vertragen Luft, Regen und Witterung nicht, werden zersetzt, und zerfallen in Grus und mengen sich in solcher Gestalt in die Dammerde. Davon macht nun der Hainholz eine Ausnahme. Als er gefunden wurde, mag er unbekannte Jahrtausende bereits auf der Erdoberfläche geweilt haben, ohne sich zu zersetzen. Davor hat ihn nichts geschützt, als sein reicher dichtgefügter Eisengehalt. Er kommt hierin einer Eisenmasse einigermafsen nahe, und hat dann, nachdem er niedergefallen, sich selbst überlassen, dasselbe Schicksal durchlaufen, welches ich von dieser geschildert habe. Er verlor die mitgebrachte Brandrinde durch Zersetzung; es bildete sich Eisenoxydhydrat auf seiner Oberfläche, sie verdickte sich im Laufe der Jahrhunderte; die wenige Steinsubstanz wurde eingeschlossen von dem oxydirten Eisen; es erzeugte sich aus diesem bei seinem Vorherrschen eine dicke Borke wie aus den reinen Eisenmassen und diese diente umgekehrt wiederum der Hauptmasse des Aerolithen zum Schutze gegen weitere Verrostung, ganz wie bei den Eisenmassen. Und so finden wir dann auch wirklich den Hainholz; er trägt eine rauhe, braune, blätterig sich ablösende, rostartige Borke, genau wie ein Eisenmeteorit; ich habe sie in vielen Exemplaren, die ich besitze, bis zu $\frac{1}{2}$ Zoll dick gefunden. Diese Borke hat ihn vor weiterer Verwitterung und vor gänzlichem Zerfalle gerettet; ohne sie hätten wir ihn nie zu Gesicht bekommen; aber sie beruht einzig auf dem so hohen Eisengehalte des Steines, dafs er sich damit in Beziehung auf Rindenbildung den wirklichen Eisenmassen anschliefsen konnte. Demnach mufs ich die Rinde des *Hainholz für tretiär, für eine Rostrinde* erklären, die unter den Meteorsteinen einzig

und ohne ihresgleichen dasteht, und wiederum ein Uebergangsglied ausmacht, das die Steine mit dem Eisen zu einer vollständig zusammenhängenden Reihe verbindet.

Wenn es unter den Meteoriten etwas giebt, das sich einigermafsen an den Hainholz anschliefst, so ist es die *Pallasische* Masse, die nach meiner früher ausgesprochenen Ansicht nicht zu den Eisen, sondern zu den Meteorsteinen gehört. Auf mehreren gröfseren Exemplaren, die ich besitze, finde ich uranfängliche Aussenseiten. Darauf sind schuppige Reste von blätterigen Rinden vorfindlich, die sie einst überzogen, und die von meinen Vorgängern im Besitze derselben möglichst sorgfältig abgebröckelt worden sind. Sie bestehen aus Eisenoxydhydrat, sind braunschwarz und fest. Auf meinen Exemplaren vom Atakama konnte ich keine Urafsenfläche auffinden.

Und nun haben wir, nachdem wir dem Pallas und Hainholz ihren ausnahmsweisen Platz unter den Aerolithen in Bezug auf ihren Ueberzug angewiesen, die Rinden aller übrigen Meteorsteine zu betrachten. Da finden wir dann, dafs sie alle ohne weitere Ausnahme mehr oder minder glasig, meistens schwarz, bisweilen braun, öfters rufsig, an vielen Stellen deutlich geflossen sind und sich der ganzen Oberfläche des Steines so genau anschmiegen, wie es nur eine Flüssigkeit auf einem festen Körper nach den Gesetzen der Adhäsion zu thun im Stande ist. Ihre Dicke ist nicht immer gleich; bisweilen ist sie so dünn wie das feinste Papier, z. B. beim Agen, Charsonville, einigen Exemplaren von Stannern und Juvenas; bei den meisten hat sie Pergamentdicke: bei einigen, besonders stellenweise, erscheint sie derber, wie beim Benares, Smolensk, Mauerkirchen, Divina, Kuleschofka, Mässing, Nashville, Sales, Borkut. An einigen findet sie sich ungleich vertheilt; so besitze ich ein Exemplar vom Nanjemoy, an dessen einer Seite die brauschwarze Rinde kaum Schreibpapierdicke hat, an der entgegengesetzten anderthalb Linien, etwa 2 Millimeter dick angehäuft, mithin nach dieser zusammengeflossen erscheint. Man hat diese Rinden öfters untersucht und immer gefunden, dafs sie eine Schlacke

sind, zusammengesetzt aus allen Bestandtheilen des Körpers, auf dem sie liegen, und grofsentheils aus Eisenoxydul. v. Schreibers hat vor 50 Jahren den Versuch gemacht, sie künstlich zu erzeugen. Er hat zu dem Ende ein Stück Stannern von Rinde ganz befreit, und es dann rasch in die Weifsgluth eines reinen Schmiedefeuers geworfen. Als er sah, dafs die Oberfläche flofs, nahm er es heraus. Erkaltet zeigte sich, dafs der Stein eine schöne schwarze Rinde bekommen hatte, ganz genau von eben der Beschaffenheit wie sie dieser Meteorit aus der Luft mitgebracht hat, und wie sie alle Exemplare davon besitzen. Ich habe das Versuchstück selbst gesehen.

Hatten wir nun, allen Hergängen nach, die einleuchtendste Wahrscheinlichkeit vor uns, dafs die geflossene Rinde der Meteorsteine eine Schlacke ist, welche ihnen erst bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre und bei den damit verbundenen Feuererscheinungen aufgenöthigt wurde, so haben wir vollends durch den schönen Versuch v. Schreibers den synthetischen Beweis, dafs in der That heftige Hitze es ist, welche diese Rinde hervorbringt. Daraus folgert sich dann überhaupt, dafs alle die glasigen und mehr oder minder schlackigen Rinden der Meteorsteine wirklich nichts anders als geflossene Oxyde sind; sie führen rückwärts auf einen Schlufs über die Heftigkeit, welche die Hitze der Feuererscheinungen haben müssen, indem sie nicht blos höchste Licht-Intensität, sondern auch die Effecte eben so grofser Wärmeintensität kundgeben.

Ein allgemeiner Ueberblick über ein Hundert verschiedener Meteorsteine, die ich vor mir habe, belehrt mich, dafs man nach dem äufseren Ansehen zunächst dreierlei Arten von Brandrinden unterscheiden kann, nämlich *glasglänzende*, *matte* und *rufsige*. Glasglänzend sind Lontalax, Bishopville, Stannern, Juvenas, Jonzac und Constantinopel, sonst kein anderer, von allen die mir zu Gesichte gekommen. Matt sind bei weitem die meisten, namentlich Seres, Doroninsk, Tunka bei Jakutzk, Wessely, Berlanguillas, Liponas, Killeter, Renazzo, Barbotan, Agen, Apt, Czartorya, Grüneberg,

Yorkshire, Parma, Tabor, Milena, Toulouse, Lissa, Divina, Eichstädt, Siena, Sigena, Capland, Borkut, Favars, Blansko, und fast alle anderen ungenannten. Rufsig sind einige Bruchflächen von Blansko, von Benares, Doroninsk, Erxleben, Stannern überall da, wo die Glanzhaut mit Fingern weggerieben ist.

Betrachten wir nun zunächst die *glasigen* Rinden. Da gewährt uns vor allen anderen Bishopville einen erfreulichen Anblick, die ganz einzig unter den Meteoriten dasteht, und wie eine seltene und zum erstenmal auf den Alpen entdeckte Pflanze das Herz des Botanikers, so hier ein Himmelsstein das Gemüth des Meteoritenfreundes erhebt: — eine *ganz farblose, durchsichtige wasserhelle* Rinde, ein Aërolith also mit einem reinen Glase überzogen. Nicht der ganze Stein zwar ist mit einem so reinen Flusse überrindet, es finden sich auch schwarze Flecke darauf, da wo der Stein von aufsen Eisenoxyd zeigt; aber viele ganze Partien seiner Oberfläche sind mit farblosem glänzenden Glase bedeckt. Deutlicher als irgend anderswo, sieht man auf diesem Meteoriten, dafs seine Rinde einer blofsen Schmelzung der Oberfläche ihre Entstehung verdankt. Der Stein, den Niemand für einen Meteorstein ansehen würde, ist nämlich ganz schneeweis, und besitzt schwarze Flecke, Fäden und Nester aneinandergehäufter schwarzer Punkte. Das weifse Material ist ein Talkerdesilikat, unter der Vergröfserung durchsichtig, schwarze Gruppen von Eisenoxydkörnern, hie und da ein kleiner Schwefelkiefskrystall eingesprengt. Alles Oberflächliche ist zu Glas geschmolzen, das Silikat zu reinem farblosem, das Eisenoxyd zu schwarzem Glase.

Die Hergänge sind hier in ihrer Einfachheit ohne Verwicklung mit anderen aufgetreten, und wir können ihnen mit der Beobachtung und dem Urtheile folgen. Ich besitze mehrere gröfsere Exemplare von diesem edelen Nordamerikaner und betrachte sie wie den Juwel in meiner Sammlung, in welcher die Erscheinung der Rinde in einem Grade

der Reinheit sich ausprägte, wie sie bei weitem nirgends aufgetreten ist, und vielleicht nie wieder auftreten wird.

Gehen wir zu den *schwarzen glasigen* Rinden, so können wir gleich wieder bei Bishopville den Anfang machen. Auf allen den Stellen, wo Eisenoxyd im Talkerdesilikate liegt, ist sie schwarz. Es hat sich also Eisenglanz, das schwarz ist, in das Silikatglas gemengt, das farblos ist, hat es schwarz gefärbt und damit die gewöhnliche schlackige, schwarze Meteoritenrinde gebildet, inselartig in dem, den farblosen, weifsen Grund bedeckenden Silikatglase. Andere Meteoriten besitzen keine so grofse, reine Anhäufungen von weifsen Grundmassen; sie sind meistens innig gemengt mit Eisenoxyd, metallischem Eisen, mit dunkelfarbigem Augit, mit Hornblende und vor diesen allen grau. In Stannern und Jonzac kann man noch millimeterdicke weifse Anorthitpartikel in grofser Menge mit unbewaffnetem Auge erkennen, aber sie sind innig durchsäet mit grauen Bestandtheilen und die Rinde davon fällt schwarz aus. Noch ist sie bei beiden auf der Oberfläche schön glänzend, selbst auf Juvenas und Constantinopel glänzt die schlackige Rinde noch.

Zwischen den weifsen und schwarzen Rinden fast mitten inne liegt noch eine ganz eigenthümliche, die des Meteorsteines von *Langres*, auch *Chasigny* genannt. Sie hat weder Glanz, noch ist sie matt; sie liegt in der Mitte und trägt *Schimmer*, wie keine andere Rinde. Ebenso ist ihre Farbe ganz eigen, die unter den Luftsteinen nicht wieder vorkommt; sie ist braun, ins Gebliche ziehend, zwischen *Colophon- und Nelkenbraun*. Sie verdient, so wie der ganze, in seiner Art einzige Stein, mehr Aufmerksamkeit als ihm bis jetzt zu Theil geworden.

Bei den *schwarzen* Rinden werden wir uns nicht aufhalten, jedermann kennt sie und sie unterscheiden sich nur nach glätterem und rauherem Anfühlen, nach satterem schwarz, oder ins Braune ziehender Tinte; bisweilen sind sie stellenweise schaumig wie bei Capland.

Endlich giebt es *rufsige* Rinden. Man liest häufig in

den Schilderungen der Meteoritenstürze, dafs die Finder sie rufsig schildern, die Finger schwarz beschmutzend; ich kann diefs von den Aërolithen von *Blansko* bestätigen. Mehrere davon färbten im Anfange schwarz ab; natürlich verwischte sich diefs mit den Händen bald. Noch bewahre ich an einem Exemplare eine rufsige Seite, die jetzt 25 Jahre alt ist. Bei Stannern ist es ziemlich auffallend, dafs wenn man die glasglänzende Haut wie einen Firnifs mit dem Finger abgerieben hat, darunter eine rufsige Schicht der Rinde zum Vorschein kommt, die dann unmittelbar auf dem Steine liegt. Ein Stückchen Rinde von *Erxleben*, das ich bewahre, hat eine vollkommene mattrufsige Oberfläche. Einzelne Seiten von *Benares*, aber bei weitem nicht alle, fand ich schwach rufsig. Auch *Doroninsk* schwach, und fein rufsig, hat ein Ansehen, das zeigt, dafs der Körper bei frischem Falle durchweg rufsig war. Immer habe ich bemerkt, dafs wenn an einem Steine rufsige Theile vorkommen, es jedesmal diejenigen Seiten sind, welche in der Luft erst spät geborsten; während umgekehrt die älteren Seiten niemals rufsig, die ältesten aber, die Urseiten, sogar glatt, und fast schimmernd waren.

Noch finden sich Meteorsteine, welche ungleiche Rinden haben, auf verschiedenen Stellen anders aussehende. So habe ich einen 8 Pfund schweren Lissa, der matt braunschwarz überrindet ist. Mitten darin findet sich da und dort ein kleiner Fleck, der Glasglanz hat. Aehnliches findet sich auf einem Benares; punktweise auch auf l'Aigle, Siena. Der Grund hiervon läfst sich leicht erkennen; er beruht immer darauf, dafs solchen Stellen irgend ein kleiner Körper, eine abgesonderte Substanz unterliegt, die in der Hauptmasse nur vereinzelt vorkommt und verhältnifsmäfsig leicht schmelzlich ist.

So weit über die Entstehung und Beschaffenheit der Rinden auf der Oberfläche der Meteorsteine. Allein damit ist ihre Rolle noch nicht erschöpft; sie spielt sich noch weiter und zwar über die Oberfläche hinaus ins Innere der Aërolithen hinein. Sehr viele Meteorsteine zeigen sich auf

dem Bruche mit schwarzen Linien durchzogen, die bald fein wie ein Haar, bald dicker wie Nähzwirn, bald dick und sichtlich angehäuft bis auf mehrere Millimeter Stärke sich erheben. Sie laufen bisweilen unter sich parallel, in anderen Exemplaren kreuzen sie sich, manche schweifen unregelmäfsig herum. Das Ganze gewährt das Bild von Gängen im Kleinen, wie sie unsere Gebirge im Grofsen durchsetzen. Ich fand sie in Agen, Charsonville, Blansko, Chateau-Renard, Slobodka, Doroninsk, Lissa, Toulouse, Limerik, Tipperari, Yorkshire, Wessely, Ensisheim, Bishopville Anmiéres, Kuleschowka, Poliz, Killeter, Hartford, Mainz. Was bedeuten diese Linien? wie sind sie entstanden? was ist ihr Inhalt? wie sind sie mit der ganzen Erscheinung der Meteoriten in Einklang zu bringen? — Darüber haben sich schon Physiker und Mineralogen die Köpfe zerbrochen; die Sache ist aber so sonderbar und stachlig, dafs bis zu dieser Stunde irgend eine auch nur halbweg annehmbare Erklärung mir wenigstens nicht bekannt geworden ist. Diese Linien sind das Räthsel der Meteoriten; zu allen ihren Beschaffenheiten sind wir bis jetzt nicht im Stande, uns hypothetische Erklärungsgründe zu ersinnen; vor diesen ganz sonderbaren Linien aber bleiben wir verwundert stehen und wissen keinen Ausweg. Sie sind, wenn ich nicht sehr irre, nicht von einerlei, sondern von mehrfacher und ganz verschiedener Abkunft. Da ich hier nur von den Rinden zu reden habe, so ist es nicht am Orte, mich weiter in diese Linien einzulassen, als es die Rinde angeht, und werde später auf den Gegenstand zurückkommen. Hier aber habe ich die Beobachtung mitzutheilen, die ich an den verschiedenen Bruchstücken von Luftsteinen zu machen Gelegenheit fand, dafs nämlich die schwarzen Rinden oftmals mit ihrer Substanz in den Körper der Meteoriten hinein fortsetzen und dann solche Linien bilden, wie wir sie so oft im Innern der Steine wahrnehmen. So habe ich in dem Augenblicke da ich dieses schreibe, einen 10 Loth schweren flachen Luftstein von Yorkshire vor mir liegen, von dem Steinfalle, den Howand untersucht und damit zuerst der That-

sache der Aërolithenfälle in der Wissenschaft das Bürgerrecht erkämpft hat. Er hat eine schwarze Rinde und ist gebrochen, senkrecht gegen die Rinde, in der Richtung einer solchen schwarzen Linie, deren Füllung er blosgelegt hat. Und was ist nun diese Füllung? Rindensubstanz und nichts anderes, in welche sie am Rande ganz unmittelbar verläuft. Was ist also hier vorgegangen? Der Meteorit ist, wie alle anderen, zersprungen in der Luft. Nicht alle Risse die er bekommen hat, sind bis zu Zertrennungen des Steines fortgeschritten. Manche sind als Risse unvollendet stehen geblieben, indem der Stein gleichzeitig nach einer anderen Richtung nachgab und rifs; in diesem Augenblick ist die wie Wasser dünnflüssige Rindensubstanz in den Rifs eingedrungen und hat ihn ausgefüllt. Erinnert man sich noch, dafs diefs hoch oben in der Atmosphäre geschah, wo der Luftdruck noch gering ist, und dafs der Stein rasch herab unter stärkeren Luftdruck kam; zieht man endlich noch in Betracht, dafs der Stein, mit planetarischer Geschwindigkeit in die Atmosphäre eindringend, den heftigsten Gegendruck von der comprimirten Luft erlitt; so begreift man leicht, dafs die dünnflüssige Rindenschlacke mit grofser Gewalt in den Steinrifs hineingetrieben wurde. Da erstarrte sie dann bei der Abkühlung des Steins, und bildete ein schwarzes Blatt in ihm, das uns dann im Querbruche als eine Linie erscheint. Auf solche Weise ist wenigstens die hier beobachtete Linie in einem Yorkshire entstanden.

Meteorsteine, welchen diese schwarzen Linien gänzlich mangeln, sind verhältnifsmäfsig wenige. Es gehören dahin Benares, Tabor, Seres, Capland, Juvenas, dann Richmond und Erxleben, und ganz vorzugsweise Borkut, von dem ich einen fast ganzen Stein von 4 Pfund besitze, der nicht eine Spur davon zeigt.

Es ist beinahe ein Unglück für uns zu nennen, dafs kein Meteorit zu uns gelangen kann, ohne zuvor den Dunstkreis passiren zu müssen. Das hat zur Folge, dafs er sich zuvor erhitzen, entzünden, oberflächlich schmelzen und brennen mufs. Dabei wird er auf seiner ganzen Oberfläche allent-

halben so verwüstet, dafs er im Vergleiche mit seinem reinen ursprünglichen Zustande gar nicht mehr zu erkennen ist. Ohne Zweifel bildete er vor seinem Eintritt in unsere Atmosphäre eine mannigfaltig zusammengesetzte hübsche Krystallanhäufung, voll glänzender Ecken, Spitzen und Nadeln, die einander wechselweise überragten. Ihre Gruppirung würde uns zu Einsicht in ihren Bildungsgang verholfen, und sofort zu den wichtigsten Schlüssen über ihre Entstehung Gelegenheit gegeben haben. So aber bekommen wir nie etwas besseres zu Gesichte, als einen verstümmelten Rumpf mit einem schwarzen und rufsigen Schlackenschmutze überzogen. Daran mögen wir dann glückliche und unglückliche Conjecturalkritik üben. —

XII. *Ein Vorschlag zur Scheidung der Talkerde vom Natron und vom Kali; von F. G. Schaffgotsch.*

Die neutralen Carbonate von Talkerde und Ammoniak bilden miteinander ein Doppelsalz, welches aus Talkerdensalzen durch $1\frac{1}{2}$-kohlensaures Ammoniak bei Stubenwärme gefällt wird, wenn die Lösungen der in Wechselwirkung tretenden Salze concentrirt sind und das Fällungsmittel vorwaltet. Dieser anfangs flockige, später krystallinisch körnige Niederschlag, welcher unter merklichem Aufbrausen und erst nach einigen Minuten erfolgt, ist zuerst von Fourcroy beobachtet, dann von Guibourt und Bucholz näher untersucht und unvollständig analysirt, endlich von Favre vollständig quantitativ zerlegt worden. Der Letztere fand seine Zusammensetzung $\dot{N}\dot{H}^4\ddot{C} + Mg\ddot{C} + 4\dot{H}$, was einem Glührückstand oder Talkerdegehalt von 15,9 aufs Hundert entspricht. Ich fand 15,5. Derselbe Niederschlag entsteht in Talkerdesalzlösungen durch Mischungen von gelöstem $1\frac{1}{2}$-kohlensaurem Ammoniak mit Aetzammoniak, welche auf *ein*

Mischungsgewicht Kohlensäure ein MG. Ammoniak oder mehr enthalten, und ist in ihnen, wenn sie concentrirt genug sind, höchst schwer löslich. Zu 60 Grm. einer derartigen Mischung von 1,09 Eigenschwere, welche aus 180 Ccm. Aetzammoniak von 0,92 ES. und 227 Grm. $1\frac{1}{2}$-kohlensaurem Ammoniak, mit Wasser auf den Rauminhalt eines Liters gebracht, bereitet worden, fügte ich 6,3 Milligr. des Doppelsalzes, entsprechend 1 Milligr. Talkerde und schüttelte im Verlauf von 6 mal 24 Stunden sechstausendmal um, ohne das Doppelsalz ganz auflösen zu können. Es kommt hiernach 1 Theil Talkerde auf mehr als 60000 Theile Flüssigkeit. Diese Schwerlöslichkeit des Niederschlages und seine durch die körnige Beschaffenheit bedingte Fähigkeit, sich schnell auswaschen zu lassen, sowie endlich sein ungemein lockeres Ansitzen an den Glaswänden der Gefäfse, machen ihn zu einem Nebenbuhler des entsprechenden phosphorsauren Doppelsalzes, wenn es die quantitative Bestimmung der Talkerde gilt, und scheinen ihn zur quantitativen Scheidung der Erde von Natron und Kali zu empfehlen, wozu das andere Doppelsalz nicht taugt. Das vom kohlensauren Doppelsalze Abfiltrirte ergiebt ja abgedampft und geglüht unmittelbar die gesuchten Alkalisalze.

Gleichwohl ist das kohlensaure Ammoniak meines Wissens nie zu der erwähnten Scheidung benutzt worden, vielleicht darum, weil diefs aber nur dann möglich ist, wenn die Concentration der Lösungen und der Ueberschufs des Fällungsmittels eine gewisse Höhe erreichen.

Um die Genauigkeit der in Rede stehenden Trennung der Talkerde von den beiden Alkalien kennen zu lernen, habe ich einige Versuche angestellt, deren Einzelnheiten ich nach Vorausschickung der nöthigen allgemeinen Bemerkungen sogleich mittheilen werde.

Als Mischungsgewichte liegen zu Grunde H = 1, O = 8, S = 16, Cl + 35,5, N = 14, K = 39,1, Na = 23, Mg = 12. Es wurden sowohl schwefelsaure Salze als auch Chlormetalle angewandt und, um die Versuche recht vergleichbar und übersichtlich zu machen, immer ein MG. Talkerde auf

1 MG. Alkali genommen und zwar zu allen Versuchen gleichviel Talkerde, nämlich 60 Centigramm.

Die schwefelsaure Talkerde wägte ich als krystallisirtes Bittersalz, die Alkalisulfate im frisch geglühten, völlig entwässerten Zustande, ebenso die zur Verwandlung in Chlormagnesium bestimmte Talkerde der vier letzten Versuche. Die abgepafste Wägung frischgeglühter Stoffe geschah ohne Beeinträchtigung der Genauigkeit auf die Weise, dafs zunächst durch Ausprobiren das Gewicht bis auf wenige fehlende Milligramme richtig genommen, dann das Fehlende auf tarirtem Glanzpapier für sich gewägt und der von der Waage entfernten Hauptmasse beigefügt wurde. Da es bei der Gewichtsbestimmung der Hauptmasse vor allem darauf ankam, die Gränze der Abnahme bei wiederholtem Erhitzen mit Schärfe zu ermitteln, und alle kürzlich erkalteten Körper ihr Gewicht beständig vermehren, so wurde ohne Ausnahme die Zeit der Erkaltung auf drei, und die Zeit der Wägung auf zwei Minuten festgestellt. Dieselbe Wägungsart, Zeitwägung, welche in bestimmten Fällen sehr viel leistet, erstreckt sich auch auf das Tariren der Tiegel und auf die Gewichtsbestimmung der Filteraschen und Reagenzrückstände sowie sämmtlicher analytischer Schlufsergebnisse, nämlich der Talkerde und der Alkalisalze. Dabei wurden die Theile eines Milligrammes nicht durch Verschiebung des Gewichtshäkchens, sondern aus dem mittleren Betrage des schwingenden Ausschlages der Zunge gefunden. Unter Reagenzrückstand verstehe ich die beim Abdampfen des Fällungsmittels, d. h. des gelösten kohlensauren Ammoniaks, zurückbleibenden Verunreinigungen im geglühten Zustande. Ich fand darin Schwefelsäure, Kalkerde und Alkalien, und konnte ihre bei der analytischen Bestimmung der Alkalisalze nothwendig in Abzug zu bringende Menge durch Vermeidung jeder Berührung des Reagenz mit vulkanisirtem Kautschuk und Kork bis auf 1 Milligramm in 150 Ccm. Reagenz herabbringen Doch wird auch Glas von kohlensaurem Ammoniak allmählich angegriffen, wie die buntangelaufenen Fensterscheiben der Pferdeställe zeigen.

Zu einem Liter Reagenz sind beim zweiten, dritten und vierten Versuche 173 Ccm. Aetzammoniak von 0,92 ES. auf 229 Grm. $1\frac{1}{2}$-kohlensaures Ammoniak genommen worden, in allen folgenden Versuchen 180 Ccm. Aetzammoniak. Zur Fällung dienten beim dritten und allen folgenden Versuchen 50 Ccm. Reagenz, zum Auswaschen 100 bis 150 Ccm. Zwischen Fällen und Filtriren verstrichen mit Ausnahme des zweiten Versuchs stets 24 Stunden. Vielleicht ist die Hälfte oder der vierte Theil dieser Zeit genügend. Filtriren nebst Waschen auf Filtern von 4 Cm. Seite nahm 2 Stunden in Anspruch.

Die Talkerde habe ich in allen Fällen nach Einäscherung des Filters, welches man am besten nicht vom Niederschlage trennt, noch eine volle Stunde über einem sechsfachen Bunsenschen Gasbrenner geglüht, weil ich nur dann gewifs seyn konnte, Wasser und Säure ganz entfernt zu haben. Das von der kohlensauren Ammoniaktalkerde Abfiltrirte mufs anfangs, um Spritzen zu vermeiden, nicht im Wasserbade, sondern bei gelinderer Wärme eingedampft werden.

Eine sehr bemerkenswerthe Verschiedenheit zwischen Natronsalzen und Kalisalzen gab sich bei der in Rede stehenden Untersuchung kund. Die ausgewaschene kohlensaure Ammoniaktalkerde enthielt so gut wie nichts von jenem, aber stets ein Beträchtliches von diesem, wie sich aus dem Gewicht der durch Glühen zersetzten Doppelverbindung und ihrem Verhalten beim Auswaschen mit heifsem Wasser ergab. Das Waschwasser liefs im einen Falle einen verschwindend kleinen Abdampf- und Glührückstand und besafs eine schwach alkalische Reaction, was beides der Talkerde an sich zukommt; im anderen Falle hingegen liefs es einen beträchtlichen Rückstand und reagirte stark alkalisch, was, da sich dieser brausend aber geruchlos in Säure löste, die Gegenwart von kohlensaurem Kali verrieth. (S. d. achten Versuch). Aufserdem fanden sich bei den Versuchen mit Chlorkalium sublimirte Spuren dieses Salzes an der Innenseite des Tiegeldeckels nach dem Glühen des Doppel-

salzes. All dieses der Talkerde nachträglich abgewonnene Alkali mufste, dem Hauptfiltrat hinzugefügt, auch bei Gegenwart von Carbonat durch Einwirkung des vorhandenen schwefelsauren oder salzsauren Ammoniaks nothwendig das entsprechende fixe Alkalisalz liefern. Das Auswaschen der geglühten Talkerde, allerdings ein Uebelstand, dessen Beseitigung noch anzustreben bleibt, ist übrigens in sehr kurzer Zeit und leicht ohne mechanischen Verlust, auch ohne neue Tarirung des Tiegels ausführbar.

I. Schwefelsaure Salze.

A. Talkerde und Natron.

1. *Versuch.* 3,6900 Grm. kr. Bittersalz und 2,1300 geglühtes Glaubersalz kalt gelöst in 12 Grm. Wasser; gefällt mit überschüssigem Aetzammoniak, dann $1\frac{1}{2}$-kohlensaures Ammoniak hinzu, bis zur Bildung eines dicken Breies. Filtrirt und mit einem willkührlichen Gemisch von $1\frac{1}{2}$ kohlensaurem Ammoniak und Aetzammoiak gewaschen. Niederschlag schwach geglüht = 0,6220 Grm., stark geglüht 0,6030. Schwefelsaures Natron nicht bestimmt.

2. *Versuch.* Ebensoviel Salze und Wasser als im ersten Versuch. Anderthalbkohlensaures Ammoniak in Stücken hinzu, bis dieselben über die Flüssigkeit hinausragen. Später das mehrfache Maafs Aetzammoniak von 0,92 ES. hinzu; nach mehreren Tagen filtrirt. Talkerde, ungewaschen, = 0,5982 Grm. Im Filtrat durch phosphorsaures Natron 2,4 Milligrm. Talkerde gefunden, wobei aber der Kalkgehalt im Reagenz zu berücksichtigen.

3. *Versuch.* Salze und Wasser wie oben. Talkerde, ungewaschen, = 0,5997 Grm., gewaschen 0,5975 statt 0,6000. Wiedergewonnenes schwefelsaures Natron, unberichtigt = 2,1415 Grm. statt 2,1300, oder Natron, unberichtigt, = 0,9350 und nach dem Gewichtsverlust der Talkerde berichtigt 0,9360 statt 0,9300. Summe = 1,5335 Grm. statt 1,5300 oder wenn man die theoretisch geforderte Summe von Talkerde und Alkali = 100 setzt, 39,05 Proc. Talkerde

statt 39,21, und 61,17 Natron statt 60,79. Im Ganzen 100,22 statt 100.

4. *Versuch.* Lösung wie oben, doch aufserdem auf jedes MG. Talkerde *ein* MG. Salmiak hinzu, also 1,605 Grm. Ein grofser Theil desselben blieb ungelöst. Talkerde, ungewaschen = 0,5982 Grm., gewaschen 0,5965 statt 0,6000. Schwefelsaures Natron, unberichtigt = 2,1443 statt 2,1300. Natron, unberichtigt = 0,9362 und berichtigt = 0,9370 statt 0,9300. Summe = 1,5335 statt 1,5300. In Hunderttheilen 38,99 Proc. Talkerde statt 39,21, und 61,24 Natron statt 60,79. Summe = 100,23 statt 100.

B. Talkerde und Kali.

5. *Versuch.* 3,6900 Grm. Bittersalz in 12 Grm. kalt. Wasser gelöst, dann 2,6130 gepulvertes schwefelsaures Kali hinzu, das sich nur theilweise löst. Talkerde, ungewaschen = 0,6115 Grm. Schwefelsaures Kali nicht bestimmt.

6. *Versuch.* Genau wie bei 5. Talkerde, ungewaschen = 0,6210 Grm.

7. *Versuch.* Die Salzmengen des vorigen Versuchs in wenigem heifsen Wasser gelöst; fast zur Trockne eingedampfte Talkerde, ungewaschen = 0,6134 Grm. Schwefelsaures Kali, unberichtigt = 2,5865.

8. *Versuch.* Salzmengen des vorigen Versuchs in 20 Grm. Wass. von 25° C. gelöst. Talkerde, ungewaschen 0,6174 Grm., gewaschen = 0,6023 statt 0,6000. Das herausgewaschene Kalisalz, stark alkalisch reagirend und mit verdünnter Schwefelsäure geruchlos brausend, wiegt direct bestimmt 0,0150 Grm. Schwefelsaures Kali, worin alles Kali, = 2,6050 statt 2,6130, oder Kali = 1,4087 statt 1,4130. Summe = 2,0110 statt 2,0130. In Hunderttheilen 29,92 Proc. Talkerde statt 29,81, und 69,98 Kali statt 70,19; zusammen 99,90 statt 100.

9. *Versuch.* Lösung des vorigen Versuchs. Talkerde, ungewaschen = 0,6167 Grm., gewaschen = 0,5993 statt 0,6000. Schwefelsaures Kali = 2,6056 statt 2,6130 oder Kali = 1,4090 statt 1,4130. Summe = 2,0083 statt 2,0130.

In Hunderttheilen: 29,77 Proc. Talkerde statt 29,81, und 70,00 Kali statt 70,19. Zusammen 99,77 statt 100.

II. Chlormetalle.

C Talkerde und Natron.

10. *Versuch.* 3,6900 Grm. kr. Bittersalz und 2,1300 geglühtes Glaubersalz gelöst in 12 Grm. kalt. Wasser. Chlorbaryumlösung in geringem Ueberschufs hinzu, filtrirt, Baryt durch Schwefelsäure entfernt. Filtrat zur Trockne eingedampft, schwach und gleichmäfsig befeuchtet u. s. f. Talkerde, ungewaschen = 0,6018 Grm. Natron nicht bestimmt.

11. *Versuch.* 0,6000 Grm. Talkerde und 1,7550 Chlornatrium in einer Mischung von 8 Ccm. Wasser mit 5 Ccm. Salzsäure von 1,12 ES. kalt gelöst, mit einigen Tropfen Aetzammoniak neutralisirt. Talkerde, ungewaschen = 0,5967 Grm., gewaschen = 0,5958 statt 0,6000. Chlornatrium = 1,7624 Grm. statt 1,7550, oder Natron = 0,9339 statt 0,9300. Summe = 1,5297 statt 1,5300. In Hundertheilen 38,94 Proc. Talkerde statt 39,21, und 61,04 Natron statt 60,79. Zusammen 99,98 statt 100.

12. *Versuch.* Lösung wie im vorigen Versuch. Talkerde, ungewaschen = 0,5947 Grm., gewaschen = 0,5929 statt 0,6000. Chlornatrium = 1,7620 statt 1,7550, oder Natron = 0,9337 statt 0,9300. Summe = 1,5266 statt 1,5300. In Hunderttheilen 38,75 Proc. Talkerde statt 39,21, und 61,03 Natron statt 60,79. Zusammen 99,78 statt 100.

D. Talkerde und Kali.

13. *Versuch.* Lösung wie in den beiden letzten Versuchen, nur 2,2380 Grm. Chlorkalium statt des Chlornatriums. Talkerde, ungewaschen = 0,6066 Grm., gewaschen 0,5918 statt 0,6000. Chlorkalium = 2,2461 statt 2,2380, oder Kali = 1,4181 statt 1,4130. Summe = 2,0099 statt 2,0130. In Hunderttheilen 29,40 Proc. Talkerde statt 29,81, und 70,45 Kali statt 70,19. Zusammen 99,85 statt 100.

14. *Versuch.* Lösung wie im vorigen Versuch. Talkerde, ungewaschen = 0,6063 Grm., gewaschen = 0,5933 statt

0,6000. Chlorkalium = 2,2485 statt 2,2380, oder Kali 1,4196 statt 1,4130. Summe = 2,0129 statt 2,0130. In Hundertheilen 29,47 Proc. Talkerde statt 29,81, und 70,52 Kali statt 70,19. Zusammen 99,99 statt 100.

Die vorstehenden Versuche sind *die einzigen*, welche ich überhaupt zur Scheidung der Talkerde von den zwei Alkalien angestellt habe. Nur 8 davon sind vollständig durchgeführt und deshalb unter sich vergleichbar, nämlich 3. 4. 8. 9. 11. 12. 13. und 14.

Die leichteste Uebersicht und das richtigste Maafs der erreichten Genauigkeit gewinnen wir durch drei Divisionen für jeden der 8 Versuche. Die gefundene Talkerde, getheilt durch die zu findende, das gefundene Alkali, getheilt durch das zu findende, und schliefslich der zweite Quotient, getheilt durch den ersten, geben drei Zahlen, welche bei völlig gelungener Scheidung sämmtlich = 1 seyn müfsten, deren Abweichung von der Einheit also den Fehler der Analyse darstellt. Im Folgenden sind die drei Zahlen, deren letzte nichts anderes ist, als das Sauerstoffverhältnifs zwischen Alkali und Talkerde, der Reihe nach unter n, s und v aufgeführt.

Zahl des Versuchs	n	s	v
3.	0,9958	1,0065	1,0107
4.	0,9942	1,0067	1,0125
8.	1,0038	0,9970	0,9932
9.	0,9988	0,9972	0,9983
11.	0,9930	1,0042	1,0113
12.	0,9882	1,0040	1,0160
13.	0,9863	1,0036	1,0175
14.	0,9888	1,0047	1,0160

v ist am gröfsten bei 13., am kleinsten bei 8. Im Mittel aller 8 Versuche ist

$$v = 1{,}009$$

d. h. der mittlere Fehler des neuen Trennungsverfahrens betrug neun Tausendtheile.

Helgoland den 11. August 1858.

XIII. *Ueber die Entstehung des Tones bei dem Brummkreisel; von Prof. Dr. Emsmann.*

Ueber den *Brummkreisel* hat Hr. Sondhauſs [1]) experimentelle Untersuchungen angestellt, die nichts zu wünschen übrig lassen. Wenn ich hier auf die angeführte Abhandlung zurückkomme, so geschieht dieſs deshalb, weil es mir scheint, als ob Derselbe die Ansicht von C. Marx [2]) über die Entstehung des Tones bei diesem Spielzeuge mit Unrecht verwirft, und dafür die von F. Savart [3]) aufrecht zu erhalten sucht.

Nach C. Marx ist die Erklärung folgende: »Die durch den Umschwung in eine gröſsere Centrifugalgeschwindigkeit versetzte und aus der Oeffnung hervordringende Luft stöſst auf die äuſsere ruhende, wird von dieser zurückgetrieben und treibt diese zurück; so entsteht eine Folge von Oscillationen, welche der Luft in der Kugel sich mittheilt und sie zum Tönen bringt«. F. Savart sagt: »Es ist leicht, sich von dem Phänomene Rechenschaft zu geben, indem man bemerkt, daſs die Hohlkugel, wenn man mit einem kleinen Windrohr oder auch mit dem Munde gegen den scharfen Rand ihrer Seitenöffnung bläſst, denselben Ton angiebt, welchen sie bei der Rotation um ihre Axe hören läſst. Im ersten Fall wird ein Luftstrom gegen den Rand der Seitenöffnung getrieben, im anderen stöſst der scharfe Rand der Seitenöffnung gegen die äuſsere Luft, was auf dasselbe hinausläuft, und obgleich das in der Hohlkugel enthaltene Fluidum durch die Rotationsbewegung mit fortgerissen wird, so vibrirt es doch ebenso, wie wenn diese Bewegung nicht existirte. Man könnte daher nach dem für Pfeifen von ähnlicher Gestalt gültigen Gesetz, daſs die Schwingungszahlen der linearen

1) Pogg. Ann. Bd. LXXXI, S. 235 u. 347.

2) Journ. für prakt. Chem. von Erdmann u. Marchand Bd. XXII, S. 133; a. a. O. S. 244.

3) *Annal. de chim. et de phys T. XXIX, p.* 425; a. a. O. S. 244.

Dimensionen umgekehrt proportionirt sind, den Ton dieser Instrumente *a priori* bestimmen, wenn ihre Höhlung genau sphärisch wäre.«

Hr. Sondhaufs hat ganz Recht, wenn er die Entscheidung für die eine oder die andere Erklärung abhängig macht von der Erscheinung, dafs der Brummkreisel zweimal tönt, nämlich anfangs, wo der Kreisel eine grofse Rotationsgeschwindigkeit besitzt, und dann nach einer Pause bei mäfsiger Rotationsgeschwindigkeit nochmals etwas höher und schwächer. Da sich nun dasselbe auch beim Anblasen zeigt, so soll darin ein Argument gegen die Annahme liegen, dafs die Centrifugalkraft den Ton erzeuge, weil es nicht einzusehen sey, wie die mit der Rotationsgeschwindigkeit abnehmende Kraft, welche nicht im Stande war, den schon schwingenden Luftkörper des Brummkreisels bei abnehmender Geschwindigkeit in Vibration zu erhalten, zuletzt noch einmal das Ansprechen des Tones veranlassen sollte. Trotz dieses Ausspruches bin ich der Ansicht, dafs zur Erklärung des Tones eines Brummkreisels die Centrifugalkraft nicht zu umgehen ist. Hr. Sondhaufs selbst bietet hierzu das nöthige Material.

Nachdem derselbe darauf hingewiesen hat, dafs die Ränder der Oeffnung nicht scharf zu seyn brauchen, wie Savart für wesentlich zu halten scheint, beharrt er dennoch bei der Erklärung, welche dieser aufgestellt hat, weil Brummkreisel mit abgerundeten Rändern der Seitenöffnung beim Anblasen auch noch tönen. Hierauf wird jedoch folgender Versuch angeführt. »Bohrt man in die Hohlkugel des Brummkreisels oben in die Drehungsaxe ein Loch, so spricht der Ton bei der Rotation nur dann noch gut an, wenn dieses Loch im Vergleiche zu der Seitenöffnung sehr klein ist. Schon wenn die in der Rotationsaxe gelegene Oeffnung, bei ihrer allmählichen Vergröfserung, dem Flächeninhalte nach den zehnten Theil der Seitenöffnung erreicht hat, so spricht der Ton nur kurze Zeit sehr schwach an und zwar nur bei geringer Drehungsgeschwindigkeit; macht man jene Oeffnung noch gröfser, so tönt der Brummkreisel während

des Rotirens nicht, spricht dagegen noch gut und leicht an, wenn man seine Oeffnung anbläfst. Es findet hier also eine Verschiedenheit in dem Verhalten des Brummkreisels beim Rotiren und beim Anblasen statt«.

Dafs man sich hiernach veranlafst sehen könnte, der von C. Marx aufgestellten Ansicht den Vorzug zu geben, erkennt Hr. Sondhaufs an; er entscheidet sich jedoch nicht für dieselbe, sondern giebt von dem Nichtansprechen der in der Axe angebohrten Brummkreisel bei der Rotation folgende Erklärung.

»Die in der Hohlkugel enthaltene Luft nimmt, in Folge der an den inneren Wänden stattfindenden Reibung, an der Rotation des Brummkreisels Theil, woran um so weniger zu zweifeln ist, da auch die äufsere Luft der Rotation folgt und bis auf die Entfernung von einigen Zollen an der Kreisbewegung Theil nimmt. Die mitrotirende Luft tritt daher *in Folge der Centrifugalkraft* zum Theil aus der Seitenöffnung des rotirenden Brummkreisels, so dafs in dessen Innern ein etwas luftverdünnter Raum entsteht, wenn nicht durch eine in der Drehungsaxe angebrachte Oeffnung fortwährend Luft von aufsen zuströmen kann. Hat nun diese Oeffnung die ausreichende Gröfse, so dringt aus der Seitenöffnung des Kreisels ununterbrochen ein Luftstrom, welcher in der Richtung der Tangente auf die äufsere Luft stöfst und diese nicht blofs in raschere Rotation versetzt, sondern auch das Anblasen der bewegten Seitenöffnung verhindert. Ist dagegen die Axenöffnung verhältnifsmäfsig klein, so ist der aus der Seitenöffnung hervortretende Luftstrom zu schwach, um den Gegendruck der äufseren langsamer kreisenden Luft zu überwinden und der Brummkreisel tönt noch, wenn auch weniger gut und anhaltend.«

Der Umstand, dafs solche Brummkreisel, die in Folge der Vergröfserung der Axenöffnung nur sehr schwach tönen, gerade bei geringerer Rotationsgeschwindigkeit ihren Ton noch hören lassen, soll ein Beleg für die aufgestellte Ansicht seyn, da die Centrifugalkraft mit dem Quadrate der Drehungsgeschwindigkeit wächst und deshalb der aus der Seitenöff-

nung des Brummkreisels hervortretende Luftstrom über den Widerstand der äufseren Luft bei gröfserer Rotationsgeschwindigkeit um so eher das Uebergewicht erlangen mufs.

Zunächst ist nicht recht in Uebereinstimmung zu bringen, wie Hr. Sondhaufs sich a. a. O. S. 215 und 217 dagegen aussprechen kann, dafs die Centrifugalkraft den Ton erzeuge, während er dieselbe S. 248 selbst zu Hülfe ruft. Halten wir diefs fest, dafs Hr. Sondhaufs ohne Centrifugalkraft nicht fertig werden kann, so hat derselbe doch im Grunde der Ansicht von C. Marx beigestimmt. Und diefs scheint uns auch die einzig richtige Ansicht zu seyn, ohne dafs damit jedoch behauptet seyn soll, dafs C. Marx die Phänomene, welche der Brummkreisel darbietet, wohl vollständig gekannt habe. Namentlich scheint Demselben das zweite Tönen bei geringer gewordener Rotationsgeschwindigkeit entgangen zu seyn. Das Princip, auf welchem die Erklärung von C. Marx beruht, ist aber jedenfalls das richtige; denn aus demselben erklärt sich nicht nur das zweimalige Tönen, sondern auch die zwischenliegende Pause.

Die in dem Brummkreisel enthaltene Luft nimmt an der Rotation des Kreisels Theil, wird in Folge der Centrifugalkraft gegen den Aequator des Kreisels gedrängt, strömt durch die Seitenöffnung in der Richtung der Tangente heraus, stöfst auf die äufsere, wird von dieser zurückgetrieben und treibt diese zurück, so entsteht eine Folge von Oscillationen, welche den Ton erzeugt, die bei der schnellen anfänglichen Rotation vernommen wird. Durch das Ausströmen der Luft aus der Seitenöffnung entsteht im Innern des Brummkreisels ein luftverdünnter Raum; nimmt die Rotationsgeschwindigkeit ab, so wird auch die Centrifugalkraft der eingeschlossenen Luft geringer, und zwar mit dem Quadrate der Rotationsgeschwindigkeit; der Kampf mit der äufseren Luft nimmt an Heftigkeit ab, es tritt eine Pause des Gleichgewichts ein, endlich gewinnt die äufsere Luft das Uebergewicht, der luftverdünnte Raum füllt sich wieder durch von aufsen eindringende Luft und so entsteht zum zweiten Male ein Ton. Der erste Ton hat also nach meiner Ansicht dem

Ausströmen der inneren Luft des Brummkreisels, der zweite dem Einströmen der äufseren Luft in denselben seine Entstehung zu danken und zwar erfolgt das Tönen in beiden Fällen nach dem Principe, wie es von C. Marx aufgestellt ist. Der Einfluſs der Oeffnung in der Axe des Brummkreisels auf das Tönen ergiebt sich hiernach, wie auch Hr. Sondhaufs angegeben und ausgeführt hat, von selbst, indem sich das Innere immer wieder mit Luft füllt und zwar in um so vollständigerem Maafse, je gröſser die Oeffnung wird. Das Tönen eines Brummkreisels beim Anblasen, selbst eines in der Axe angebohrten, hat freilich mit der Centrifugalkraft nichts zu schaffen.

Schliefslich bemerke ich nur noch, daſs mich die Beobachtung des zweimaligen Tönens eines Brummkreisels auf den hier vorliegenden Gegenstand aufmerksam machte, daſs ich die Untersuchungen des Hrn. Sondhaufs in Folge hiervon näher ansah und, da mir hier eine Lücke vorzuliegen schien, meine Ansicht einer Vorlage in den Annalen nicht unwerth hielt.

XIV. *Ueber die Interferenz zweier Stimmgabeln; von C. A. Grüel, Mechaniker in Berlin.*

Wenn man eine angeschlagene Stimmgabel vor dem Ohr oder über einer abgestimmten Schallröhre um ihre Längenaxe dreht, so findet man bei jeder Umdrehung 4 Stellungen wo der Ton vollständig verschwindet. Hält man zwei nahe im Einklange stehende angeschlagene Gabeln über einer Schallröhre, so geschieht die Unterdrückung des Tones ebenfalls, aber periodisch, und das abwechselnde Anschwellen und Nachlassen desselben ist es, was mit dem Namen Schwebungen, Stöfse, bezeichnet worden ist.

In beiden Fällen entsteht die Wirkung einer vollkommenen Interferenz durch das Zusammentreffen einer ver-

dichtenden mit einer verdünnenden Schallwelle von gleicher Intensität, und man erkennt bald den Grund, weshalb der Versuch, eine andauernde Interferenz zu erzeugen, bei Anwendung einer einzelnen Gabel so leicht gelingt. Wenn nun zwei Gabeln wirklich *unisono* gestimmt und ihre Vibrationen so isochron sind, dafs die Entstehung der Stöfse gänzlich ausgeschlossen ist, so kann man die Frage stellen, ob unter Umständen nicht der Fall eintreten könne, dafs diese Gabeln angeschlagen und über einem Schallrohr gehalten, gar keinen Ton vernehmen lassen.

Da ich mit diesem Theil der akustischen Praxis öfter zu thun und daher Gelegenheit hatte, den Gegenstand durch das Experiment zu prüfen, so schien es mir nicht unangemessen, das gewonnene Resultat schon deshalb mitzutheilen, weil von mehreren Seiten die Muthmafsung gegen mich ausgesprochen worden war, die Gabeln würden, wenn sie ganz genau wären, selbst in dem Fall, dafs ihre Schwingungsbewegung gerade die entgegengesetzte wäre, dennoch einen Ton erzeugen. Ich habe mich nun überzeugt, dafs diese Interferenz wirklich unter folgenden Bedingungen andauernd eintritt. Die Gabeln müssen genau *unisono*, gleichartig gearbeitet und von gleicher Stärke und Dauer des Tones seyn. Dieselben müssen ferner gleich stark angeschlagen und symmetrisch über die Oeffnung der Schallröhre gehalten werden. Dann aber mufs der Zufall allein es fügen, dafs sie sich nach dem Anschlagen in entgegengesetzter vibratorischer Bewegung befinden, was leider durch mechanische oder physikalische Hülfsmittel anderer Art zu erreichen sehr schwierig erscheint.

Ich glaube, dafs ich mich nach Aufzählung dieser verschiedenen Bedingungen, befriedigt finden darf, wenn ich sagen mufs, dafs erst nach 30 bis 40maligem Anschlagen durchschnittlich der Versuch vollkommen gelingt, von dessen Realität man sich leicht überzeugt, wenn man abwechselnd die eine oder die andere Gabel vom Schallrohr entfernt, wo sogleich der vorher unterdrückte Ton vernehmbar wird.

Da das Abstimmen genauer *Unisono*-Gabeln mühsam und

die Beobachtung sehr langsamer Schwebungen unsicher ist, so bemerke ich hier beiläufig, dafs die gleichzeitige Anwendung des Pendels, einer Hülfsgabel, welche raschere Stöfse giebt, und das versuchsweise Aufkleben höchst kleiner Wachsstückchen auf die Schenkel Mittel darbieten, die Ajustirung unter Vermeidung manches fehlerhaften Feilstrichs zu bewirken und zu fördern.

XV. *Akustische Notiz.*

Wenn die Thür eines Zimmers, worin eine Gasflamme brennt, schnell durch einen ganz kleinen Raum hin- und herbewegt wird, so zeigt, wie Schaffgotsch beobachet hat (Ann. Bd. 100 S. 650) das Sinken und Steigen der Flamme die dadurch hervorgebrachten Verdichtungen und Verdünnungen der Luft mit Genauigkeit an. Ganz dieselbe Erscheinung kann man in jedem Concertsaal beobachten, der mit Gas oder einem flüchtigen Oel erleuchtet wird. Jedesmal nämlich, wenn ein sehr intensiver Ton, z. B. ein Paukenschlag, angegeben wird, sieht man plötzlich und, wegen des geringen Abstandes, gleichzeitig alle Flammen einen Augenblick niedriger werden. Die Töne mögen einander noch so rasch folgen, so werden sie doch mit telegraphischer Genauigkeit von den Flammen angezeigt. Ich bemerkte diese Phänomene zuerst zu Göttingen in einem Concert am 12. Febr. d. J. im »Deutschen Hause« worin die Pauken mit ungewöhnlicher Kraft und Präcision behandelt wurden.

A. Arndtsen.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Grünstrafse 18.

1858. ANNALEN No. 8.
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND CIV.

I. *Ueber die Zusammensetzung des Titaneisens, sowie der rhomboëdrisch und oktaëdrisch krystallisirten Eisenoxyde überhaupt;* von C. Rammelsberg.

Vor sechszig Jahren bewies Klaproth, dafs der von Gregor in einem magnetischen Eisensande von Menaccan in Cornwall angegebene Metallkalk von unbekannter Natur identisch sey mit der von ihm im Rutil entdeckten Titansäure. Seine Analyse des Menaccanits war die erste eines Titaneisens, welchem dann ein derbes von Aschaffenburg, so wie die losen Körner von Ohlapian in Siebenbürgen (Nigrin) und von der Iserwiese (Iserin), so wie der Sand von der finnischen Ostseeküste folgten.

Cordier analysirte eine grofse Zahl von vulkanischen Eisensandarten, die sich ebenfalls als titanhaltig erwiesen. Vauquelin, Berthier, H. Rose, besonders aber Mosander und von Kobell haben sich mit der Untersuchung des Titaneisens beschäftigt.

Was die Krystallform des Titaneisens betrifft, so fand zuerst Mohs, dafs das von Gastein, welches sich durch eine Spaltungsrichtung auszeichnet (daher axotomes Eisenerz) in Rhomboëdern von 86° krystallisirt, also die Form des Eisenglanzes besitzt. Dann zeigte G. Rose, dafs die von Kupffer gemessenen und als Ilmenit bezeichneten Krystalle vom Ilmengebirge gleichfalls die Form des Eisenglanzes besitzen und Titaneisen sind, dafs die krystallisirten Titaneisen von Tvedestrand und Krageröe in Norwegen hiermit übereinstimmen, so wie dafs das spitze Rhomboëder der kleinen Krystalle von Bourg d'Oisans, Crichtonit genannt, die Berzelius als Titaneisen erkannte, wohl

für das fünffach schärfere des Hauptrhomboëders gehalten werden könnte. Später sind dann noch andere rhomboëdrisch krystallisirte Titaneisen beschrieben worden.

Einige Mineralogen glauben indessen, dafs es auch Titaneisen von *regulärer* Form gebe. So bezeichnete Breithaupt als *Trappeisenerz* [1]) ein in Oktaëdern und Würfeln krystallisirtes Titaneisen, allein er hat keine Analyse desselben mitgetheilt, und diejenigen Cordier's, welche er anführt, können nichts beweisen, da sie den vulkanischen Eisensand betreffen, welcher ein Gemenge von Titaneisen und Magneteisen [2]) seyn kann. Auch die Angaben Karsten's, dafs in manchem Magneteisen Titan enthalten sey, müssen nach meinen Erfahrungen als sehr zweifelhaft erscheinen.

Von den zahlreichen Analysen der Titaneisen haben die älteren jetzt kaum mehr als ein historisches Interesse, da die damaligen Methoden keine sichere Trennung des Eisenoxyds von der Titansäure verbürgen, und letztere, so wie sie Klaproth abschied, gewifs oft Alkali enthielt. Erst durch die Arbeiten H. Rose's über die Titansäure wurden richtige Analysen möglich. Dieser Chemiker untersuchte selbst den Iserin und das Titaneisen von Egersund [3]), und versuchte später, die in der Auflösung des letzteren enthaltenen Oxyde des Eisens ihrer Menge nach zu bestimmen [4]), indem er sich dazu des Schwefelwasserstoffs und des Natrium-Goldchlorids bediente.

Im Jahre 1829 erschien die wichtige Arbeit Mosander's über die Zusammensetzung einiger Titaneisen [5]). Durch eine neue Methode, nämlich durch Glühen in Wasserstoffgas, suchte derselbe die Oxyde des Eisens zu reduciren, aus dem Gewichtsverlust ihre relative Menge zu berechnen, und durch verdünnte Chlorwasserstoffsäure die Ti-

1) Schweigg. Journ. 54, 156.

2) Dasselbe gilt von dem Magneteisensande aus Aetnalaven, der nach Sartorius v. Waltershausen 12,38 Proc. Titansäure enthält, und *zum Theil* oktaëdrisch krystallisirt ist.

3) Diese Ann. 3, 163.

4) Ebendas 15, 276.

5) *Vetensk. Akad. Handl.* 1829. Diese Ann. Bd. 19. S. 211.

tansäure von dem reducirten Eisen zu trennen. Seine Analysen betreffen den Ilmenit, das T. von Tvedestrand bei Arendal und das von Egersund. Mosander fand hierbei, dafs in allen diesen T. *Talkerde* bis zu 2,3 Proc., oft Mangan, auch kleine Mengen Kalk, zuweilen Chromoxyd, ja selbst $3\frac{2}{3}$ Proc. *Zinnsäure* in einer Art magnetischen Titaneisens von Tvedestrand vorkommen. Mosander's Arbeit ist um so wichtiger, als dies letztere und der Ilmenit die ersten *krystallisirten* Titaneisen waren, welche überhaupt analysirt wurden.

Von nicht minderer Bedeutung sind die Arbeiten von Kobell's auf diesem Gebiete. Derselbe wandte Fuchs's Methode der Trennung der Monoxyde von den Sesquioxyden, nämlich den kohlensauren Kalk, auch hier an, indem er fand, dafs dadurch aus der chlorwasserstoffsauren Auflösung des Titaneisens neben dem Eisenoxyd auch die Titansäure gefällt wird; die Scheidung beider erreichte er sodann nach Reduktion des ersteren zu Oxydul durch dasselbe Reagens. Auf diese Art analysirte er das T. von Egersund, dasselbe, mit welchem schon H. Rose und Mosander gearbeitet hatten [1]), später das von Gastein, welches er Kibdelophan nannte [2]), ferner das bereits von Klaproth untersuchte von Aschaffenburg [3]), sodann die Eisenrose aus der Schweiz, und das mit Rutil auf Bergkrystall vorkommende aus Graubündten, welches dem Eisenglanz vollkommen gleicht, und von Breithaupt haplotypes Eisenerz genannt wird [4]).

In neuerer Zeit haben Marignac, Plantamour, Delesse, Hunt und noch mehrere andere Titaneisen analysirt.

Durch alle diese Arbeiten ergab sich eine grofse Verschiedenheit in der Zusammensetzung der Titaneisenarten; die Menge der Titansäure ging von 59 Proc. in dem T. von

1) Schweigg. Journ. 64, 59.
2) Ebendas. S. 215.
3) Journ. f. pr. Chem. 1, 87.
4) Ebendas. 14, 409.

Gastein bis auf 10 Proc. in dem schweizerischen T. herunter. Allein auch bei einer und derselben Varietät erhielten verschiedene Chemiker verschiedene Resultate, zwar oft nur um wenige Procente, in der Menge der Titansäure, oft aber bedeutend in derjenigen der beiden Oxyde des Eisens. So in dem T. von *Egersund*. Während 39,0 bis 43,7 Proc. Titansäure gefunden wurden, sind darin enthalten an:

	nach H. Rose.	Mosander.	von Kobell.
Eisenoxyd	42,70	23,2 — 29,1	28,6
Eisenoxydul	13,57	27,2 — 29,2	27,9

Im *Ilmenit* werden 45,4 — 46,9 Proc. Titansäure angegeben, wogegen

	nach Mosander.	Delesse.
Eisenoxyd	10,7 — 11,7	40,7
Eisenoxydul	35,3 — 37,8	14,1

Das erstere ist ein *derbes* T., das letztere aber *krystallisirt*, und daher wohl von reiner Beschaffenheit, kein Gemenge.

Indem wir die Frage, ob diese Differenzen in der Natur begründet oder nur eine Folge der analytischen Methoden sind, weiter unten discutiren wollen, berühren wir zunächst die Ansichten über die *Constitution* der Titaneisen. Deren sind zwei, eine von Mosander und eine von H. Rose aufgestellt.

Mosander, welcher die beiden Oxyde nicht direkt, sondern durch den Gewichtsverlust, den das Mineral in Wasserstoff erleidet, bestimmte, nahm an, dafs der Sauerstoff der Titansäure das Doppelte von dem des Eisenoxyduls sey, dafs also 1 At. Eisenoxydul gegen 1 At. Titansäure vorhanden, und dafs das titansaure Eisenoxydul $\dot{Fe}\,\ddot{Ti}$ mit variablen Mengen Eisenoxyd die isomorphen Mischungen der Titaneisen bilde. Die Isomorphie beider sah er darin begründet, dafs sie 2 At. Metall gegen 3 At. Sauerstoff enthalten, und die Isomorphie des Titaneisens mit dem Eisenglanz war dadurch erklärt.

Unstreitig hat Mosander die kleinen Mengen von *Manganoxydul* als isomorph mit dem Eisenoxydul betrach-

tet. Für die niemals fehlende *Talkerde* gilt aber dasselbe, weil sie auch dann zugegen ist, wenn keine Kieselsäure sich fand, welche in reinem Titaneisen überhaupt nicht vorkommt. Zinnsäure ist natürlich ein Vertreter von Titansäure, Chromoxyd von Eisenoxyd.

Unterwirft man Mosander's Analysen der Berechnung, so stellt sich allerdings das Sauerstoffverhältnifs von $\dot{R}:\ddot{T}i$ nicht immer $= 1:2$ heraus. Allein ihr Urheber hat selbst darauf hingewiesen, dafs seine Methode keine genaue Bestimmung der beiden Eisenoxyde gestatte, da ein kleiner Fehler in der Sauerstoffbestimmung von erheblichem Einfluſs auf die relative Menge jener sey. Auch glaubte er oft eine Beimengung freier Titansäure annehmen zu müssen.

Die Analysen von Kobells gaben eine direkte Trennung der Eisenoxyde, und erweiterten die Kenntnifs von der Zusammensetzung der Titaneisen. Allein sie schienen durchaus nicht Mosanders Ansicht von der Constitution dieser Erze zu bestätigen, insofern die Abänderung von *Gastein*, welche nur 4¼ Proc. Eisenoxyd enthält, nach ihm ein Titanat ist, in welchem der Sauerstoff von Basis und Säure $= 1:3$, also $\dot{Fe}^2\ddot{Ti}^3$, während umgekehrt die an Eisenoxyd sehr reiche Eisenrose ein Titanat mit dem Sauerstoffverhältnifs $1:5$ enthalten würde. Das Gasteiner Titaneisen hätte aber vor allen Mosander's Annahme beweisen müssen. War nun diese, oder waren die Analysen in Zweifel zu ziehen?

H. Rose[1]) machte die Bemerkung, dafs die von ihm, von Mosander, und von v. Kobell in dem Titaneisen von Egersund gefundenen relativen Mengen beider Oxyde des Eisens, obwohl so sehr verschieden, doch fast einer und derselben Menge Eisen entsprechen. Er kam dadurch auf die Vorstellung, dafs im Titaneisen nicht Titansäure, sondern das niedere *Titanoxyd*, welches nach Fuchs's Versuchen offenbar $\ddot{T}i$ ist, ausschliefslich mit *Eisenoxyd* in Verbindung sei, dafs dadurch die Isomorphie mit dem Eisenglanz sich erkläre, dafs aber beim Auflösen des Erzes 1 At.

1) Diese Ann. 62, 119.

Titanoxyd und 1 At. Eisenoxyd sich zu 2 At. Titan*säure* und 2 At. Eisen*oxydul* umsetzen, daher denn auch um so mehr an letzterem gefunden werde, je titanreicher das Erz sey, Nach H. Rose ist der Magnetismus kein Grund, Eisenoxydul als präexistirend anzunehmen, während die schwarze Farbe gegen ein titansaures Salz spreche. So wären also alle Titaneisen $= m\,\dddot{Fe} + n\,\dddot{Ti}$, wo m und n = 1, 2, 3, 4, 5, 6 sind.

In der That fand v. Kobell, dafs eine Auflösung von Titanoxyd Eisenoxyd zu Oxydul reducirt [1]).

Zu derselben Ansicht sah sich Scheerer geführt, als er bemerkte, dafs Titaneisen beim Erhitzen mit Schwefelsäure eine *blaue* Masse bilde, welche nach dem Auflösen in Wasser Titansäure und Eisen*oxydul* liefert [2]).

Diese Ansicht wurde von Berzelius bekämpft [3]), theils wegen des Magnetismus, der die Gegenwart von Eisenoxydul voraussetze, theils durch die Betrachtung, dafs, wie überhaupt, so auch hier, bei einem Zusammentreffen von Titan, Eisen und Sauerstoff, der Affinität nur dadurch vollkommen Genüge geleistet sey, wenn die stabilsten und elektrochemisch differentesten Verbindungen entständen, d. h. Eisen*oxydul* und Titan*säure*.

Auch Hermann hat Einwürfe gegen H. Rose's Ansicht erhoben [4]), welche aber mit denen von Berzelius zusammenfallen.

Es ist klar, dafs diese Einwürfe von keinem grofsen Gewicht sind, da die Reduktion von Titanoxyd *auf nassem Wege*, d. h. bei Gegenwart einer Säure, durch Eisenoxyd gar kein Hindernifs für die Verbindung beider Oxyde auf trocknem Wege ist, welchen Umstand ich schon früher hervorgehoben habe [5]).

Allein wenn H. Rose's Ansicht richtig ist, so mufs in

1) A. a. O. S. 599.
2) A. a. O. 64, 489.
3) Dessen Jahresbericht 25, 368.
4) J. f. prakt. Chem. 43, 50.
5) IV. Suppl. zu meinem Handwörterb. S. 236.

jedem Titaneisen, wenigstens in jedem krystallisirten, durch die Analyse genau so viel Eisenoxydul gefunden werden, als durch die vorhandene Titansäure reducirt wird, d. h. 1 At. Eisenoxydul gegen 1 At. Titansäure, und nur, wenn mehr als 1 At. Titanoxyd gegen 1 At. Eisenoxyd vorhanden wäre, könnte ein Theil von ersterem übrigbleiben. Dieser Fall müfste bei dem Titaneisen von Gastein stattfinden, welches nach v. Kobell gegen 2 At. Eisenoxydul, 3 At. Titansäure bei der Analyse gab, so dafs es, nach H. Rose's Theorie, aus 2 At. Eisenoxyd und 3 At. Titanoxyd bestehen würde. Allein v. Kobell fand überdies $4\frac{1}{4}$ Proc. *Eisenoxyd*, und ich selbst habe noch mehr gefunden. Dies wäre ganz unmöglich, da das überschüssige Titanoxyd seine Gegenwart gar nicht zuläfst, und es fragt sich nun: ist dieses Titaneisen wirklich ein Beweis gegen H. Rose's Ansicht, oder ist seine Analyse unrichtig?

Die hier dargelegten Schwierigkeiten, welche der allgemeinen Annahme jener Ansicht entgegentreten, so wie überhaupt die Wichtigkeit des Titaneisens bei seiner grossen Verbreitung, bestimmten mich, eine Reihe von Analysen anzustellen, besonders mit krystallisirten Abänderungen, wodurch sich hoffen liefs, über die Constitution des Minerals Aufschlufs zu gewinnen; und wenn auch H. Rose's Ansicht im Vergleich zu der von Mosander als naturgemäfser erschien, so war doch ein Umstand geeignet, die Präexistenz des Eisenoxyduls im Titaneisen glaublich zu finden: die constante Gegenwart der *Talkerde*, als einer mit jenem isomorphen Basis.

Eine neue Arbeit über die Titaneisen kann nur dann Werth haben, wenn sie eine genaue Bestimmung der Titansäure sowohl als der bei der Analyse sich findenden Oxyde des Eisens gewährt. Ich werde daher zuvörderst, mit Rücksicht auf die bisherigen Methoden, die von mir benutzten anführen.

Am leichtesten gelingt das Aufschliefsen jedes Titaneisens durch Schmelzen mit saurem schwefelsaurem Kali. Man kann aus der in der Kälte erfolgten vollständigen Auf-

lösung, nach Reduktion des Eisenoxyds durch etwas schwefligsaures Natron, durch Kochen die Titansäure fällen, und im Filtrat das Eisen etc. bestimmen. Ich habe diese Methode im Anfang auch häufig benutzt, sie aber später mit einer anderen vertauscht, welche zugleich eine Controle für den Sauerstoffgehalt des Erzes, richtiger gesagt, für einen bestimmten Theil desselben darbietet. Dies ist Mosander's Methode. Allein, obgleich der Gewichtsverlust bei der Reduktion im Wasserstoff bestimmt wurde, diente er nicht zu einer Berechnung von Eisenoxydul und Oxyd.

Das feine Pulver wurde in einem Platinschiffchen in einer langen Platinröhre ohne Löthung über einer Gaslampe, wie sie zu Elementaranalysen dient, so lange in einem Strom von Wasserstoffgas einer sehr starken Rothglühhitze ausgesetzt, bis längst kein Wasser mehr in einer angesetzten Glasröhre sich verdichtete. Dazu war bei einigen Grammen Material nie mehr als eine halbe Stunde nöthig. Die graue poröse Masse löste sich nach dem Wägen leicht los, und wurde mit verdünnter Schwefelsäure digerirt, zuletzt gekocht. Dabei blieb ein schwarzer Rückstand, welcher bei Luftzutritt geglüht, (wobei er am Gewicht zunimmt) eine gelbe Titansäure giebt, die nach dem Wägen mit saurem schwefelsaurem Kali geschmolzen wurde. Nach dem Auflösen im Wasser, und Zusatz von etwas schwefligsaurem Natron, wurde die Flüssigkeit einige Stunden im Kochen erhalten, von der gefällten Titansäure durch Filtriren befreit, abermals eben so lange gekocht, eine kleine Menge noch abgeschiedener Säure wiederum abfiltrirt, und hierauf in der gewöhnlichen Art weiter untersucht, um Eisen, Mangan und Talkerde zu bestimmen. Hierbei fand sich zuweilen noch etwas Titansäure, die trotz des Kochens aufgelöst geblieben war. — In der schwefelsauren Auflösung wurden Eisen, Mangan und Talkerde ebenfalls bestimmt. Das hier erhaltene Eisenoxyd habe ich öfter auf Titansäure geprüft, aber nur einmal eine kleine Menge gefunden, die wohl als Titanoxyd in der verdünnten Schwefelsäure sich aufgelöst hatte.

Zur Bestimmung von Eisenoxydul und Oxyd giebt es bekanntlich mehrere Methoden, wenngleich von sehr verschiedenem Werth.

H. Rose hat *Natriumgoldchlorid* für diesen Zweck vorgeschlagen, und mittelst desselben aus dem Titaneisen von Egersund 13,86 Proc. Eisenoxydul (nach der Correktion für das Atomgewicht des Eisens) erhalten. Wenn auch Mosander und v. Kobell mehr als doppelt so viel fanden, so stimmt doch die Menge des metallischen Eisens, aus beiden Oxyden berechnet, in allen diesen Versuchen sehr nahe überein. Dieser Umstand war es aber, welcher H. Rose auf die Vermuthung führte, dafs die Mengen beider Oxyde von der Methode der Analyse herrühren.

Ich habe mich früher öfters dieser Methode bedient; als ich sie jedoch in neuerer Zeit, besonders bei meinen Untersuchungen über die Augite und Hornblenden, mit der volumetrischen Chamäleonprobe verglich, wobei alle übrigen Umstände gleich waren, erhielt ich durch das Goldsalz immer viel weniger Eisenoxydul. Dies führte zu einigen speciellen Versuchen.

0,1735 grm. weicher Eisendraht, in einer Kohlensäure-Atmosphäre in Chlorwasserstoffsäure aufgelöst, gaben 0,162 Gold, welche nur 0,138587 Eisen entsprechen. Hier waren also in runder Zahl nur 80 Proc. des Eisens gefällt worden.

Reines krystallisirtes Magneteisen von Traversella, dessen Analyse weiterhin folgt, lieferte nur 8,23 Proc. Eisenoxydul, etwas mehr als ein Viertel des vorhandenen.

Ich habe nicht die Umstände untersucht, welche die unvollkommene Oxydation des Eisenoxyduls hier bewirken, jedoch Anstand genommen, das Goldsalz bei der Analyse der Titaneisen zu verwenden.

Die Scheidung beider Oxyde durch kohlensauren Baryt habe ich mehrfach durchgeführt. Diese Methode hat nur den Uebelstand, dafs beim Filtriren sich etwas Eisenoxydul höher oxydirt, daher die Menge desselben leicht zu niedrig ausfällt. Gegen die volumetrischen Proben steht

sie durch den Zeitaufwand, den sie veranlafst, sehr im Nachtheil.

Zwei dieser letzteren habe ich vorzugsweise angewandt, die Chamäleonprobe und die Jodprobe.

Die *Chamäleonprobe* geht sehr schnell von Statten. Die durch Kochen bei Luftausschlufs erhaltene Auflösung des Titaneisens in Chlorwasserstoffsäure wird sammt abgeschiedener Titansäure in eine grofse Menge Wasser gegossen, und mit einer titrirten Auflösung von übermangansaurem Kali geprüft. Durch die grofse Verdünnung begegnet man der Wirkung der Chlorwasserstoffsäure auf den einfallenden Strahl der rothen Auflösung.

Die *Jodprobe* Bunsens, eine der werthvollsten analytischen Methoden der neueren Chemie, giebt noch genauere Resultate, erfordert indessen mehr Zeitaufwand. Die chlorwasserstoffsaure Auflösung des Titaneisens wurde mit einer abgemessenen Menge einer genau titrirten Auflösung von chlorsaurem Kali versetzt, so dafs sie mehr enthielt, als zur vollen Oxydation erforderlich war, und durch längeres Kochen das überschüssige Chlor in eine Auflösung von Jodkalium getrieben, worauf es mit Hülfe titrirter Auflösungen von unterschwefligsaurem Natron (welches der schwefligen Säure weit vorzuziehen ist) und von Jod volumetrisch bestimmt wurde.

Schon Fuchs hat gefunden[1]), dafs ungeglühte Titansäure, mit Chlorwasserstoffsäure und Kupfer gekocht, zu einer rothen Flüssigkeit aufgelöst wird, welche mit Ammoniak einen dunkelrothen Niederschlag von Titanoxyd giebt. Ferner fand er, dafs eine durch Kochen bereitete Auflösung von Titaneisen, wobei ein Theil Titansäure sich abscheidet, nachdem das Eisen vollständig oxydirt worden, durch Kochen mit Kupfer gleichfalls roth wird. Liefs er aber die Flüssigkeit bei gewöhnlicher Temperatur mit Kupfer in Berührung, so entfärbte sie sich zuerst, indem das Eisenoxyd sich reducirte, und erst später fing sie vom Boden an, wo die abgeschiedene Titansäure lag, sich violet zu färben.

1) J. f. pr. Chem. 18, 495.

Ich habe diese Methode mit einigen Modifikationen gleichfalls angewendet. Die feingepulverte Substanz (Eisenoxyd, Magnet- oder Titaneisen) wurde in einem kleinen Kolben mit gewogenen Kupferstreifen und Chlorwasserstoffsäure behandelt, so dafs jene bis fast zur Oberfläche der Säure reichten, der Kolben luftdicht verschlossen und öfter umgeschüttelt. In der Regel war nach einigen Tagen bei gewöhnlicher Temperatur alles aufgelöst; die Flüssigkeit war farblos, oder, bei Titaneisen, violet. Wenn letzteres reich an Titan ist, finden sich wohl einige Flocken Titansäure auf dem Boden. Die Auflösung erfolgt auf diese Art schneller, als man erwarten sollte. Der Gewichtsverlust des Kupfers zeigt $\frac{1}{7}$ vom Sauerstoff des Eisenoxyds und $\frac{1}{4}$ von dem der Titansäure an.

Die nachfolgenden Untersuchungen erstrecken sich auf rhomboëdrisch krystallisirte und derbe Titaneisen, auf den Eisenglanz, so wie auf regulär krystallisirte Magneteisen, den Martit aus Brasilien und die von Scacchi beschriebenen eigenthümlichen Eisenglanzoktaëder vom Vesuv, deren chemische Untersuchung jedoch ein durchaus unerwartetes Resultat geliefert hat.

Titaneisen

1. Vom Ingelsberg bei Hofgastein.

Diese Abänderung, von Mohs zuerst als axotomes Eisenerz, von v. Kobell als Kibdelophan bezeichnet, findet sich in Rhomboëdern von 86° 0′ krystallisirt, in dichtem Talk eingewachsen, und von krystallisirtem Magnesitspath begleitet. An den von mir untersuchten Exemplaren, welche ich der Güte der Herren Hörnes und G. Rose verdanke, war kaum mehr als die Endfläche deutlich. Das spec. Gewicht., nach v. Kobell = 4,661, fand ich = 4,689. Es giebt ein schwarzes Pulver, und zeigt keine (nach von Kobell schwache) Wirkung) auf die Magnetnadel.

Ich habe bereits darauf aufmerksam gemacht, dafs gerade dieses Titaneisen, welches bei der Analyse nur sehr

wenig Eisen*oxyd* gegeben hat, für die Frage nach der Constitution der Titaneisen sehr wichtig sey.

Die von v. Kobell erhaltenen Zahlen, das Mittel zweier nahe übereinstimmender Analysen, welche durch eine Correktion nach dem jetzigen Atomgew. des Eisens sich sehr unbedeutend ändern würden, sind

		Sauerstoff.	
Titansäure	59,00		23,52
Eisenoxyd	4,25		1,27
Eisenoxydul	36,00	7,99	8,36
Manganoxydul	1,65	0,37	
	100,90 [1])		

Der gesammte Eisengehalt beträgt hiernach als Eisenoxyd 44,25 Proc.

Der Sauerstoff des Eisenoxyduls (Mn) und der Titantansäure sind = 1 : 2,8.

v. Kobell hat dafür 1 : 3 genommen, und das Gasteiner Titaneisen als eine Verbindung von 2 At. Eisenoxydul und 3 At. Titansäure,

$$\dot{Fe}^2\ \ddot{Ti}^3,$$

gemengt mit etwas Eisenoxyd betrachtet. v. Kobell konnte die Abweichung von dem Ilmenit, der nach Mosander $\dot{Fe}\ \ddot{Ti}$ enthält, bei der Isomorphie mit diesem und dem Eisenglanz nicht erklären.

Wird die Analyse im Sinne H. Rose's umgeformt, so wären die Bestandtheile:

		Sauerstoff.	
Titanoxyd	53,12		17,64
Eisenoxyd	44,25	13,27	13,84
Manganoxyd	1,83	0,57	
	99,20		

13,84 : 17,64 = 3 : 3,8, fast 3 : 4 = 9 : 12, so dafs dies Titaneisen etwa $\dddot{Ti}^4\ \dddot{Fe}^3$ seyn würde.

Meine Versuche ergeben folgende Resultate:

1) In Schwgg. Journ. ist die Summe = 100. Wo liegt der Druckfehler?

I. In Wasserstoffgas betrug der Verlust 10,92 Proc.

II. Die durch Kochen mit Chlorwasserstoffsäure bei Luftabschlufs unter Abscheidung von Titansäure erhaltene Auflösung gab

mit Chamäleon	*a*) 37,42	Proc.	Eisenoxydul
	b) 37,98	„	„
durch die Jodprobe	*c*) 39,46	„	„
	Mittel 38,30	„	„

III. Die Analyse selbst gab:

	a.	*b.*	*c.*	*d.*
Titansäure	53,33	53,22	53,28	52,28
Eisenoxyd	44,98		45,44	
Manganoxydul	4,37		4,23	
Talkerde	1,31		2,20	
	103,99		105,15	

	Mittel von III.	von II. und III.		Sauerstoff.
Titansäure	53,03	53,03		21,15
Eisenoxyd	45,31	2,66		0,80
Eisenoxydul		38,30	8,50	
Manganoxydul	4,30	4,30	0,97	10,16
Talkerde	1,65	1,65	0,66	
	104,19	99,94		

Ich habe hiernach 6 Proc. weniger Titansäure als von Kobell gefunden.

Da der Sauerstoff des Eisenoxyduls (und der beiden anderen Basen) sich zu dem der Titansäure sehr nahe = 1 : 2 verhält, so ist das Titaneisen von Gastein fast reines *titansaures Eisenoxydul*, wenn man Mosander's Ansichtt heilt,

$$\dot{Fe}\,\ddot{Ti}.$$

Folgt man derjenigen H. Rose's, so ist es dagegen eine Verbindung von 1 At. Titanoxyd und 1 At. Eisenoxyd,

$$\dddot{Ti}\,\dddot{Fe},$$

da die Analyse gegeben hat:

		Sauerstoff.	
Titanoxyd	47,74	15,86	
Eisenoxyd	45,21	13,56	14,99
Manganoxyd	4,73	1,43	
Talkerde	1,65		
	99,33		

Hierbei wäre aber die Talkerde, ein sehr constanter, wenn auch meist nur geringfügiger Bestandthei dles Titaneisens, aufser Acht zu lassen.

Wenn das Erz in Wasserstoffgas nur den sämmtlichen Sauerstoff beider Oxyde des Eisens verlöre, so müfste der Verlust = 9,30 Proc. seyn. Wenn es von dem Sauerstoff des Eisenoxyds nur den Theil verliert, der nicht zur Verwandlung des Titanoxyds in Säure dient, so müfste der Verlust = 9,71 Proc. seyn. Da er nach I. 10,92 Proc. beträgt, so ist zu schliefsen entweder: dafs etwas Titansäure zu Oxyd reducirt, oder dafs etwas Titanoxyd unverändert geblieben sey.

Meine Analysen beweisen, dafs das T. von Gastein jedenfalls eine sehr einfache Zusammensetzung hat, und dafs auf seine Constitution die Theorie Mosander's ebensowohl wie die von H. Rose Anwendung finden kann.

Das Titaneisen von St. Christophe bei Bourg-d'Oisans im Dauphiné, gewöhnlich *Crichtonit* genannt, hat ganz genau die Zusammensetzung des Gasteiner. Nach Marignac [1]) ist das spec. Gewicht = 4,727 und die Mischung:

		Sauerstoff.
Titansäure	52,27	20,84
Eisenoxyd	1,20	0,36
Eisenoxydul	46,53	10,33
	100.	

II. Von Layton's Farm, N. Amerika

Von dieser nicht näher bezeichneten Lokalität erhielt ich durch Hrn. Dr. Hörnes, Kustos des K. K. Mineralien-

1) *Ann. Chim. Phys.* III. Ser. XIV. 50.

kabinets in Wien ein Titaneisen, in chemischer Hinsicht das interessanteste von allen.

Das untersuchte Exemplar zeigte einzelne Krystallflächen, war von muschligem Bruch, gab ein braunschwarzes Pulver, und war nicht magnetisch.

Sein spec. Gew. fand ich in zwei Versuchen = 4,313 und 4,293, also niedriger als irgend ein anderes Titaneisen.

Ebenso auffallend war der geringe Verlust, den es im Wasserstoffgas erlitt,

nämlich in $a = 4{,}91$ Proc.
in $b = 4{,}80$ »

Zwei Chamäleonproben gaben an
Eisenoxydul 27,70 Proc.
28,05 »

Und zwei Analysen:

	a.	*b.*	Mittel.
Titansäure	57,42	58,00	57,71
Eisenoxyd	30,32	29,37	29,80
Manganoxydul	0,90	0,90	0,90
Talkerde	12,92	14,50	13,71
	101,46	102,77	102,12

Nun sind 29,8 Proc. Eisenoxyd = 26,82 Eisenoxydul, so dafs offenbar gar kein Eisenoxyd vorhanden ist. Demnach wird das Resultat:

			Sauerstoff.
Titansäure	57,71		23,01
Eisenoxydul	26,82	5,95	11,63
Manganoxydul	0,90	0,20	
Talkerde	13,71	5,48	
	99,14		

Also ein Titaneisen mit 14 Proc. Talkerde, und dennoch, wenn man der gewöhnlichen Ansicht folgt, ganz einfach zusammengesetzt,

$$\dot{Fe}\,\ddot{Ti} + \dot{Mg}\,\ddot{Ti},$$

welche unter sich isomorph sind.

Dafs der Verlust bei der Reduktion nicht 5,95 Proc. erreicht, sondern um 1 Proc. darunter bleibt (obwohl ein

mal der Versuch mit Hülfe eines stark ziehenden Windofens angestellt wurde), liegt wohl daran, dafs in der Hitze eine nicht reducirbare Verbindung von Titansäure, Talkerde und etwas Eisenoxydul sich bildet. In der That war in dem Rückstand, den die reducirte Substanz beim Kochen mit verdünnter Schwefelsäure hinterliefs, aufser der Titansäure, über 15 Proc. des gesammten Eisengehalts, 85 Proc. der gesammten Talkerde und sämmtliches Mangan enthalten.

Wenn man nun versucht, auf dieses Titaneisen die Theorie H. Rose's anzuwenden, so stöfst man wegen der Talkerde auf eine Schwierigkeit, die sich nur mittelst zweier jedenfalls sehr gewagter Hypothesen würde beseitigen lassen. Entweder nämlich mufs man annehmen, dafs es ein *Magnesiumsesquioxyd* gebe, von der Zusammensetzung der Thonerde und des Eisenoxyds, so dafs das Titaneisen eine Verbindung

$$\dddot{Fe}\ \dddot{Ti} + \dddot{Mg}\ \dddot{Ti}$$

wäre, eine Annahme, die jedenfalls sehr gewagt ist, und durch kein anderweitiges Faktum unterstützt wird. Oder man mufs dieses Titaneisen als

$$\dddot{Fe}\ \dddot{Ti} + 2\dot{Mg}\ \ddot{Ti}$$

betrachten, wodurch aber der gröfste Vorzug von H. Rose's Theorie, die einfache Begründung der Isomorphie von Titaneisen und Eisenoxyd, wieder verloren geht.

Die berechnete Zusammensetzung ist für:

$$\dot{Fe}\ \ddot{Ti} + \dot{Mg}\ \ddot{Ti} = \dddot{Fe}\ \dddot{Ti} + \dddot{Mg}\ \dddot{Ti} = \dddot{Fe}\ \dddot{Ti} + 2\dot{Mg}\ \ddot{Ti}$$

Titansäure	58,89 =	Titan	35,41
Eisenoxydul	26,42	Eisen	20,55
Talkerde	14,69	Magnesium	8,81
	100.	Sauerstoff	35,23
			100.

während die Analyse

Titan	34,70
Eisen	21,57
Magnesium	8,23

gegeben hat.

Wenn bei der Reduktion in Wasserstoff nur Titansäure, Talkerde und metallisches Eisen zurüblieben, müfste der Verlust 5,87 Proc. betragen.

III. Vom Ilmengebirge bei Miask am Ural (Ilmenit).

Dieses Titaneisen ist dadurch wichtig geworden, dafs G. Rose es als ein solches erkannte und an ihm die Isomorphie mit dem Eisenglanz nachwies [1]), nachdem Kupffer, der die chemische Natur des Minerals nicht kannte, es irrthümlich für zwei- und eingliedrig gehalten hatte. Der Endkantenwinkel des Hauptrhomboëders ist:

nach Kupffer	= 85°	56′
» G. Rose	= 86	0
» Brooke	= 85	36
» Kokscharow	= 86	0

Das specifische Gewicht ist:

4,766 4,768 4,808	nach G. Rose.
4,85 — 4,69	» Schmid.
4,811 4,833 4,873	» meinen Wägungen.

Es ist schwach magnetisch. Das Pulver ist schwarz mit einer deutlichen Neigung in braun.

Dieses Titaneisen ist mit sehr verschiedenen Resultaten von Mosander, Delesse [2]) und E. Schmid [3]) analysirt worden.

1) Diese Annal. 9, 286.

2) *Thèse sur l'emploi de l'analyse chimique etc.* p. 46.

3) Diese Ann. 84, 498.

	1. Mosander.		2. Delesse.	3. Schmid.
	a.	*b.*[1])		
Titansäure	46,92	48,01	45,4	31,61
Eisenoxyd	10,74	12,05	40,7	$\dddot{F}e$ 70,70
Eisenoxydul	37,86	36,39	14,1	$\dddot{M}n$ 0,90
Manganoxydul	2,73	2,46	—	103,01
Talkerde	1,14	0,61	—	
Kalkerde	—	0,25	0,5	
Chromoxyd	—	0,39	—	
Zinnsäure	—	—	0,5	
Bleioxyd	—	—	0,2	
	99,39	100,16	101,4	

Hiernach ist der Gehalt an

	1. *a.*	1. *b.*	2.	3.
Eisenoxyd	52,91	52,48	56,36	70,7

Ich habe Ilmenitkrystalle aus drei verschiedenen Sammlungen analysirt, jedoch so nahekommende Resultate erhalten, dafs die Abweichungen obiger Analysen wohl in Versuchsfehlern beruhen. In der That habe ich selbst anfangs, ehe ich alle Vorsichtsmafsregeln bei der Analyse kannte, aus Ilmenit 37, sogar nur 30 Proc. Säure erhalten, allein der Rest war im Eisenoxyd enthalten, die Scheidung war unvollständig.

Der Verlust bei der Reduktion in Wasserstoffgas betrug:

11,50 und 11,91 Proc. in Mosanders,

11,73 » 12,15 » in meinen Versuchen,

Kalk, Chrom, Zinn und Blei fanden sich niemals vor.

Die erhaltenen Zahlen sind:

	Titansäure.	Eisenoxyd.	Manganoxydul.	Talkerde.
a)	43,43	54,25	2,72	0,42
b)	45,25	55,52		0,76
c)	46,61			
d)	49,39			

1) Nach Abzug von 2,8 Kieselsäure.

Eisenoxydul, durch die Chamäleonprobe

a) 35,55
b) 36,30
c) 37,72

Betreffs der Titansäure sind die beiden extremen Werthe nicht in Rechnung zu nehmen. Das Mittel der übrigen giebt:

			Sauerstoff	oder
Titansäure	45,93		18,31	45,93
Eisenoxyd	14,30		4,29	54,88
Eisenoxydul	36,52	8,11		
Manganoxydul	2,72	0,61	8,95	2,72
Talkerde	0,59	0,23		0,59
	100,06			104,12

Hierdurch wird die Richtigkeit von Mosanders Analysen bestätigt. Der Gewichtsverlust in Wasserstoffgas sollte $= 4{,}29 + 8{,}11 = 12{,}4$ Proc. seyn, also nahe gleich dem gefundenen.

Als Ilmenit mit Chlorwasserstoffsäure und Kupfer behandelt wurde, ergaben sich als Aeq. des aufgelösten Metalls 6,18 Proc. Sauerstoff. Nun ist $\frac{18{,}31}{4} = 4{,}58 + \frac{4{,}29}{3} = 1{,}43 = 6{,}01$ Proc., also ganz nahe die gefundene Menge.

Gleichwie bei den beiden vorhergehenden Titaneisen ist auch hier der Sauerstoff des Eisenoxyduls (Mn, Mg) gleich der Hälfte von dem der Titansäure, und zugleich doppelt so grofs als der des Eisenoxyds. Der Ilmenit ist folglich nach Mosander

$$6\,\dot{\mathrm{F}}\mathrm{e}\,\ddot{\mathrm{T}}\mathrm{i} + \dddot{\mathrm{F}}\mathrm{e},$$

oder nach H. Roses Ansicht

$$\dddot{\mathrm{F}}\mathrm{e}^4\,\ddot{\mathrm{T}}\mathrm{i}^3.$$

In Mosander's Analysen ist der Sauerstoff

von $\dddot{\mathrm{F}}\mathrm{e} : \dot{\mathrm{R}}$
in $a = 1 : 3{,}0$
in $b = 1 : 2{,}4$

doch sind die Quantitäten beider Oxyde des Eisens nicht direkt bestimmt. (Vgl. das oben Angeführte).

IV. Von Egersund in Norwegen.

Ein derbes Titaneisen, von schwarzer Farbe und fast schwarzem Pulver. Nicht magnetisch (H. Rose fand es stark, Mosander nur hie und da magnetisch).

Das spec. Gewicht ist:

4,739 4,750	}	nach G. Rose
4,751		» Breithaupt
4,787		» Mosander
4,744 4,791	}	» meinen Versuchen.

Dieses Titaneisen hat, wie schon angeführt wurde, bei der Analyse sehr verschiedene Resultate geliefert:

	1. H. Rose.			2.[2]) Mosander.			3. v. Kobell.
	früher		später[1])				
	a.	*b.*	*c.*	*a.*	*b.*	*c.*	
Titansäure	51,12			39,16	43,29	41,11	43,24
Eisenoxyd	57,57	58,13	43,22	29,25	23,61	25,95	28,66
Eisenoxydul			13,86	27,32	29,77	29,06	27,91
Manganoxydul				0,21	—	—	99,81
Talkerde				2,31	1,22	1,94	
Kalkerde				0,96	0,51	0,49	
Cer u. Yttererde				—	—	0,58	
Chromoxyd				0,12	0,34	—	
	108,69			99,33	98,74	99,13	

Poggendorff machte zuerst die Bemerkung, dafs in 1 und 2 die Eisenmengen nahe übereinstimmen. Es ist in der That das Eisenoxyd

in 1	*a* = 57,57
1	*b* = 58,13
1	*c* = 58,62
2	*a* = 59,60
2	*b* = 56,69
2	*c* = 58,25
3	= 59,67

1) Corrigirt nach dem Atomgew. des Eisens. Entsprechend 58,62 Eisenoxyd.
2) Nach Abzug der Kieselsäure.

Der Verlust des Erzes in Wasserstoff beträgt
nach Mosander in *a* 15,04 Proc.
» *b* 13,69 »
» *c* 14,57 »
nach meinen Versuchen 12,76 »

Meine Analysen haben ergeben:

Titansäure.	Eisenoxyd.	Eisenoxydul.	Talkerde.
51,04	52,92	39,00	0,35
51,55	53,31	39,87	0,46
		40,62	

Im Mittel:

		Sauerstoff.		
Titansäure	51,30		20,45	51,30
Eisenoxyd [1])	8,87		2,66	53,12
Eisenoxydul	39,83	8,84	9,00	
Talkerde	0,40	0,16		0,40
	100,40			104,82

Der Sauerstoff von $\dddot{Fe} : \dot{Fe} : \ddot{Ti}$ ist $= 1 : 3,4 : 7,7 = 0,8$ 2,7 : 6. Das einfache Verhältnifs 1 : 3 : 6 als das nächste giebt

$$9\,\dot{Fe}\,\ddot{Ti} + \dddot{Fe} = \dddot{Fe}^{11}\ddot{Ti}^{9} \text{ oder } \dddot{Fe}^{4}\ddot{Ti}^{3}.$$

Im letzteren Falle würde es mit dem Ilmenit identisch seyn.

Der Sauerstoff der Eisenoxyde ist = 11,5 Proc.; der Verlust in Wasserstoff betrug 12,76 Proc. $\frac{20,45}{4} + \frac{2,66}{3} =$ 6,00. Die direkte Probe mit Kupfer gab 6,54.

Bei einer Scheidung durch kohlensauren Baryt erhielt ich 37,91 Proc. Eisenoxydul, also 10 Proc. mehr als von Kobell.

Eine durch Kochen mit Chlorwasserstoffsäure erhaltene Auflösung gab mit Natriumgoldchlorid eine sehr langsame Goldabscheidung, welche nach 14 Tagen einem Gehalt von 21,76 Proc. Eisenoxydul entsprach, d. h. kaum mehr als der Hälfte des vorhandenen, aber doch fast anderthalb mal so viel, als H. Rose gefunden hatte.

1) Spuren von Mangan.

Die derbe Beschaffenheit dieses Titaneisens macht es erklärlich, dafs es nicht an allen Stellen gleich zusammengesetzt ist. Mosander's Analysen stimmen indessen mit den meinigen insofern überein, dafs der Sauerstoff von Eisenoxydul und Titansäure = 1 : 2 ist. Im Uebrigen geben sie:

		Sauerstoff. Fe : $\ddot{F}e$: $\ddot{T}i$
a	$5\dot{F}e\ddot{T}i + 2\ddot{F}e = \ddot{F}e^{9}\ddot{T}i^{5}$	2,5 : 3 : 5
b	$3\dot{F}e\ddot{T}i + \ddot{F}e = \ddot{F}e^{5}\ddot{T}i^{3}$	3 : 3 : 7,2
c		3 : 3 : 6,2

Dagegen ist das Resultat

nach H. Rose (l. c.) $2\dot{F}e\ddot{T}i^{3} + 3\ddot{F}e = \ddot{F}e^{4}\ddot{T}i^{3}$ $\frac{4}{3}$: 3 : 4

» v. Kobell $\dot{F}e^{2}\ddot{T}i^{3} + \ddot{F}e =$ 2 ; 3 : 6

Diese Uebereinstimmung, zugleich mit der aus meinen Versuchen berechneten Formel ist merkwürdig, findet aber nur statt, wenn in H. Rose's Analyse der Verlust (43,73 Proc.) als Titansäure genommen wird.

V. Von Krageröe in Norwegen.

Auch dies Titaneisen war derb, dem vorigen sehr ähnlich. Sein spec. Gewicht fand ich = 4,701.

In Wasserstoffgas verlor es 12,96 Proc.

Titansäure.	Eisenoxyd[1]).	Eisenoxydul[2]).
47,23	55,45	39,16
46,60	56,00	40,48

Im Mittel

			Sauerstoff.	
Titansäure	46,92		18,71	46,92
Eisenoxyd	11,48		3,44	55,72
Eisenoxydul	39,82	8,84	9,33	
Talkerde	1,22	0,49		1,22
	99,50			103,86

Der Sauerstoff der Eisenoxyde ist = 12,28 Proc. (gefunden 12,96).

1) Etwas Mangan enthaltend.

2) Chamäleonproben.

$\frac{18,71}{4} + \frac{3,44}{3} = 5,83$. Der Versuch mit metallischem Kupfer gab 5,97 Proc.

Da der Sauerstoff von $\dddot{Fe} : \dot{R} : \ddot{Ti} = 1 : 2,7 : 5,5 = 1,1 : 3 : 6$, also offenbar $= 1 : 3 : 6$, so hat das Titaneisen von Krageröe dieselbe Zusammensetzung wie das von Egersund, nur kommen die Versuche hier der Formel noch näher.

VI. Von der Iserwiese (Iserin).

Alle bisherigen Untersucher haben an diesen schwarzen Körnern grofse Verschiedenheiten in Betreff des Magnetismus, des spec. Gew. und der Zusammensetzung beobachtet. Klaproth erhielt aus einigen, deren spec. Gew. = 4,65 war, etwa 30 Proc. Titansäure und 72 Proc. mit Oel geglühten Eisenoxyds. H. Rose analysirte später zwei gröfsere Körner, und fand in dem

	sehr magnetischen	schwach magnetischen
Titansäure	53,50	
Eisenoxyd	56,28	53,54
	109,78	

Er nahm das Eisen als Oxydul (50,65 und 48,18 Proc.), und setzte den Ueberschufs in der ersten Analyse (4,15 Poc.) auf Rechnung eines Kalkgehalts in der angewandten Weinsteinsäure.

G. Rose und Breithaupt bestimmten später das spec. Gewicht, und fanden

ein schwach magnetisches Korn = 4,68 G. R.
desgl. = 4,756 Br.
desgl. = 4,933 Br.
ein stark magnet K. = 4,76 G. R.

Ich untersuchte

A. Acht kleinere Körner, deren spec. Gew. = 4,752 war.

B. Ein gröfseres Korn. Sp. G. = 4,676.

1) Diese Ann. 9, 291.

2) Schweigg. Journ. 54, 148.

		Eisenoxydul.	Sauerstoff. d. Wasserstoff.	d. Kupfer.
A.	Chamäleon	29,20	14,38	6,69
	Jodprobe	29,21		
	»	27,87		
B.	Chamäleon:	30,57	14,40	7,57

	A.			Sauerstoff.
Titansäure	37,13	= 37,13		14,80
Eisenoxyd	60,84 [1])	28,40		8,52
Eisenoxydul		29,20	6,48	
Manganoxydul	3,01	3,01	0,68	8,35
Talkerde	2,97	2,97	1,19	
	103,95	100,71		

	B.			Sauerstoff
Titansäure	42,20	= 42,20		16,83
Eisenoxyd	57,33	23,36		7,01
Eisenoxydul		30,57	6,78	
Manganoxydul	1,74	1,74	0,39	7,80
Talkerde	1,57	1,57	0,63	
	102,84	99,44		

Sauerstoff, durch Reduktion

	in Wasserstoff Berechnet.	Gefunden.	durch Kupfer Berechnet.	Gefunden.
A.	$8{,}52 + 6{,}48 = 15{,}00$	14,38	$\frac{14{,}8}{4} + \frac{8{,}52}{3} = 6{,}54$	6,69
B.	$7{,}01 + 6{,}78 = 13{,}79$	14,40	$\frac{16{,}83}{4} + \frac{7{,}01}{3} = 6{,}55$	7,57

Hiernach geben beide Analysen das Resultat, dafs der Sauerstoff des Eisenoxyduls (Mn, Mg) halb so grofs wie der der Titansäure und gleich dem des Eisenoxyds ist. Der untersuchte Iserin ist mithin entweder

$$3\,\dot{Fe}\,\ddot{Ti} + \ddot{\ddot{Fe}},$$

oder

$$\ddot{\ddot{Fe}}^5\,\ddot{\ddot{Ti}}^3.$$

d. h. gleich zwei von Mosander untersuchten Proben von Egersund. Bemerkenswerth ist hier die in ansehnlicher Menge vorhandene Talkerde.

1) Das Eisenoxyd enthielt etwas Titansäure, deren Abscheidung versäumt wurde.

Aber es giebt auch Iserin von abweichender Zusammensetzung, d. h. solchen, in welchem Ḟe Ṫi nicht angenommen werden kann. Wir werden weiterhin auf ihn zurückkommen.

VII. Von Lichtfield, Connecticut (Washingtonit).

Von Herrn Shepard erhielt ich ein Stück dieses Titaneisens, und zwar Fragmente von glanzlosen Krystallen, sechsseitigen Tafeln, deren abwechselnde Ecken durch die Flächen des Hauptrhomboëders abgestumpft sind. Dana fand den Endkantenwinkel = 86°. Sie sind mit Glimmer verwachsen, brüchig, geben ein schwarzes Pulver, und sind schwach magnetisch. Das spec. Gewicht ist nach Dana = 5,016. Ich fand es nur = 4,986.

Dieses Titaneisen (jedoch von Washington, nahe bei Lichtfield), ist von Kendall[1]) und von Marignac[2]) untersucht worden.

	Kendall.		Marignac.	
		Sauerstoff.		Sauerstoff.
Titansäure	25,28	10,08	22,21	8,85
Eisenoxyd	51,84	15,55	59,07	17,72
Eisenoxydul	22,86	5,07	18,72	4,15
	99,98		100.	
Gesammtmenge d. Eisenoxyds	77,24		79,87	

Meine Versuche ergaben:

Verlust in Wasserstoffgas	= 22,16
Sauerstoff durch Kupfer	= 9,24
Eisenoxydul (Chamäleon)	= 20,36
» » (Jodprobe)	= 22,39
Titansäure	= 23,24
	= 24,29

1) Dana Min. II. Edit. p. 527.

2) *Ann. Chim. Phys. III. Sér. XIV.* 50.

Oder vollständig

			Sauerstoff.	
Titansäure	23,72	= 23,72		9,46
Eisenoxyd	78,59	= 53,71		16,11
Eisenoxydul		22,39	4,97	
Manganoxydul	0,25	0,25	0,06	5,23
Talkerde	0,50	0,50	0,20	
	103,06	100,57		

Der Sauerstoff von $\dot{R} : \ddot{T}i : \dddot{F}e$ ist $= 1 : 1{,}8 : 3{,}1 = 1 : 2 : 3$, mithin

$$\dot{F}e\,\ddot{T}i + \dddot{F}e = \dddot{F}e^{3}\,\ddot{T}i.$$

Der Verlust in Wasserstoffgas sollte 21,08 Proc., und der durch Kupfer angezeigte Sauerstoff nur 7,73 Proc. betragen haben.

Man sieht, dafs Kendall und Marignac dieselbe Substanz unter Händen hatten. Des Ersteren Analyse giebt obiges Sauerstoffverhältnifs ebenfalls $= 1 : 2 : 3$, die Marignac's $= 1 : 2{,}1 : 4{,}3$ oder fast $1 : 2 : 4$, wonach die Formel

$$3\,\dot{F}e\,\ddot{T}i + 4\,\dddot{F}e = \dddot{F}e^{11}\,\ddot{T}i^{3}$$

aus ihr abzuleiten wäre. Dieses krystallisirte Titaneisen hat also eine sehr einfache Formel. Bei ihrer Berechnung erhält man:

1 Atom	Titansäure	= 501,5	=	25,70
1 »	Eisenoxyd	= 1000,0	=	51,24
1 »	Eisenoxydul	= 450,0	=	23,06
		1951,5		100.

Berechneter Verlust in Wasserstoff = 20,49 Proc.
» Sauerstoffverlust d. Kupfer = 7,68 »

Ohne Zweifel gehört das Titaneisen von *Tvedestrand* bei Arendal, dessen Krystallform G. Rose beschrieben hat, hierher.

Das spec. Gewicht ist = 4,931 G. Rose,
des magnetischen = 4,745
des unmagnetischen = 4,488[1]) } Mosander.

1) Vielleicht soll es 4,848 heifsen.

Die Analysen Mosander's [1]) sind, nach Abzug der Kieselsäure und Kalkerde (wahrscheinlich müfste, des beigemengten Granats wegen, auch etwas Eisen in Abzug kommen):

	a. Magnetische Krystalle.	*b.* Unmagnetische Krystalle.
Zinnsäure	3,68	—
Titansäure	20,64	24,25
Chromoxyd	—	0,45
Eisenoxyd	55,86	60,16
Eisenoxydul	19,70	14,29
Talkerde	0,74	1,13
	100,62	100,28
Eisenoxyd im Ganzen	77,76	76,04

Die Unsicherheit einer Berechnung der relativen Menge beider Eisenoxyde, wie sie hier stattgefunden hat, dürfte gestatten, dieselbe unter der Voraussetzung zu controliren, welche nach meiner Erfahrung allgemein gültig ist, nämlich dafs der Sauerstoff von $\dot{R} : \ddot{T}i = 1 : 2$ ist. Man erhält dann:

	a.	Sauerstoff.		*b.*		S.
Zinnsäure	3,68	0,78	9,01	—		—
Titansäure	20,64	8,23		24,25		9,65
Chromoxyd	—			0,45	0,13	16,38
Eisenoxyd	56,70		17,01	54,17	16,25	
Eisenoxydul	18,90	4,20	4,50	19,69	4,37	4,82
Talkerde	0,74	0,30		1,13	0,45	
	100,66			99,69		

Dann ist der Sauerstoff von

$$\dot{R} : \ddot{T}i : \ddot{F}e$$

in *a* = 1 : 2 : 3,8 vielleicht 1 : 2 : 4
» *b* = 1 : 2 : 3,4 » 1 : 2 : 3,

entsprechend den beiden oben angeführten Formeln.

1) Von Kobell führt eine Analyse H. Rose's von dem Arendaler T. an (J. f. pr. Chem. 14, 409), welche 48,95 Titansäure und 51,05 Eisenoxydul gegeben habe. H. Rose hat aber nie eine solche Analyse ge-

Uebrigens steht meine Correktion beider Analysen mit dem von Mosander gefundenen Verlust in Wasserstoff recht gut im Einklang. Derselbe ist nämlich

	Gefunden.	Berechnet.
a	= 21,29 Proc.	21,21 Proc.
b	= 21,03 »	20,62 »

Auch ein von Smith[1]) untersuchtes, zu *Nikaria* mit Smirgel vorkommendes Titaneisen, aus welchem 23 Proc. Titansäure und 74 Eisenoxyd erhalten wurden, scheint hierher zu gehören. Doch ist die Analyse viel zu ungenau für eine Berechnung.

VIII. Von Eisenach am Thüringer Wald.

Ein derbes Titaneisen, sonst dem vorigem sehr ähnlich, nesterweise in dem Granitconglomerat (Rothliegenden) des nordwestlichen Theils vom Thüringer Walde vorkommend und von Herrn Prof. Senfft mir mitgetheilt. Es ist nicht magnetisch, giebt ein schwarzes Pulver, und hat ein spec. Gewicht = 5,060.

Zwei Jodproben gaben

Eisenoxydul 12,58 Proc.
12,60 »

			Sauerstoff.	
Titansäure	16,20	= 16,20		6,46
Eisenoxyd	83,91	69,91		20,97
Eisenoxydul		12,60	2,80	
Manganoxydul	0,77	0,77	0,17	3,19
Talkerde	0,55	0,55	0,22	
	101,43	100,03		

Der Sauerstoff von $\dot{Fe} : \ddot{Ti} : \dddot{Fe}$ ist = 1 : 2 : 6,5, also wohl = 1 : 2 : 6. Demnach ist dieses Titaneisen

$$\dot{Fe}\,\ddot{Ti} + 2\dddot{Fe} = \dddot{Fe}^{5}\,\ddot{Ti}$$

macht. Breithaupt citirt (Schweigg. Journ. 54, 154) ebenfalls zwei solche Analysen mit 48,46 — 48,95 Titansäure und 51,05 — 51,54 Eisenoxydul, die in diesen Ann. 9, 289 stehen sollen, und verwechselt also damit das T. von Egersund.

1) *Ann. d. Mines. IV. Sér. XVIII*, 305.

	Gefunden.	Berechnet.
Verlust in Wasserstoff	24,00	23,77
Sauerstoff durch Kupfer	9,10	8,60

Es scheinen diesem Titaneisen noch drei andere in der Zusammensetzung nahe zu stehen.

1) *Von Uddewalla* in Schweden. Derb, schwach magnetisch. Plantamour[1]) fand 24,55 Proc. Sauerstoffverlust in Wasserstoffgas, und erhielt 15,56 Titansäure und 83,86 Eisenoxyd = 99,42 Proc.; wäre die Analyse genau, so hätte sie einen Ueberschufs geben müssen. Berechnet man die relative Menge der beiden Oxyde aus der Titansäure, so erhält man:

		Sauerstoff.	
Titansäure	15,56	6,20	2
Eisenoxyd	68,31	20,49	6
Eisenoxydul	14,00	3,10	1
	97,87		

Es scheint also dem T. von Eisenach ganz gleich zu seyn.

2) *T. vom Horrsjöberg in Wermland;* in kleinen schwach magnetischen Körnern, nach Igelström[2]) 15,76 Titanoxyd und 84,24 Eisenoxyd enthaltend. Dies giebt

			Sauerstoff.	
Titansäure	17,51	= 17,51	6,98	2
Eisenoxyd	84,24	66,77	20,03	6
Eisenoxydul		15,72	3,49	1
	101,75	100,00		

Mithin gleich dem vorigen.

3) *Titaneisen von Aschaffenburg*, derb, blättrig, meist polarisch magnetisch, schon von Klaproth, später von v. Kobell untersucht. Spec. Gew. = 4,74 Kl., 4,78 v. K.

v. Kobell fand:

		Sauerstoff.	
Titansäure	14,16[3])		5,64
Eisenoxyd	75,00		22,50
Eisenoxydul	10,04	2,23	2,41
Manganoxydul	0,80	0,18	
	100.		

1) Journ. f. pr. Chem. 24, 302.
2) Öfversigt 1854, No. 3. Journ. f. pr. Chem. 64,62
3) Aus dem Verlust.

Wäre die Titansäure direkt bestimmt worden, so liefse sich eine Correktion anbringen, da sicherlich etwas mehr Eisenoxydul vorhanden ist. Jedoch schon so sieht man, dafs der Sauerstoff von $\dot{Fe} : \ddot{Ti} : \dddot{Fe}$ wohl $= 1 : 2 : 9$ ist, d. h. dafs die Formel

$$\dot{Fe}\,\ddot{Ti} + 3\dddot{Fe} = \dddot{Fe}^{3}\,\dddot{Ti}$$

seyn wird.

IX. Von Snarum in Norwegen.

Ein derbes Titaneisen, Begleiter des von mir [1]) beschriebenen *Völknerits* (Hydrotalkits), aus dem Serpentinlager von Snarum. Spec. Gew. = 4,943.

Verlust in Wasserstoffgas = 25,74 Proc.

Eisenoxydul durch Chamäleon = 7,53 — 8,35 — 8,70 Proc.

Im Uebrigen gab die Analyse:

			oder	Sauerstoff.
Titansäure	10,02 =	10,02	10,47	4,13
Eisenoxyd	86,64	77,17	80,63	24,19
Eisenoxydul		8,52	8,90	1,97
Talkerde	1,33	1,33	100.	
Thonerde	1,46	1,46		
	99,45	98,50		

Thonerde und ein Theil der Talkerde gehören beigemengtem Völknerit an.

Der Sauerstoff von $\dot{Fe} : \ddot{Ti} : \dddot{Fe}$ ist $= 1 : 2{,}1 : 12{,}3$, d. h. $= 1 : 2 : 12$. Das T. von Snarum ist mithin

$$\dot{Fe}\,\ddot{Ti} + 4\dddot{Fe} = \dddot{Fe}^{9}\,\dddot{Ti}$$

Der Sauerstoff der Eisenoxyde ist $= 26{,}16$, während 25,74 gefunden wurden. Ferner ist $\frac{4{,}13}{4} + \frac{24{,}19}{3} = 9{,}09$ Proc. Sauerstoff. Die Probe mit Kupfer hatte 9,30 Proc. ergeben.

X. Aus dem Binnenthal im Wallis.

Ich erhielt ein Stück dieses Titaneisens, dem etwas Quarz und Glimmer anhaften, vor dreizehn Jahren bei einem Auf-

1) Diese Ann. 97, 296.

enthalt in Viesch in Wallis. Es zeigt die Endfläche, gestreift parallel den Kanten mit dem Hauptrhomboëder, dessen Flächen theilweise wahrzunehmen sind. Auf jener ist es stark glänzend, gleich dem Eisenglanz, dem auch die ganze Masse ähnlich ist.

Das spec. Gewicht ist = 5,127 oder nach einer neueren Bestimmung = 5,150

Ich habe eine Analyse dieses Titaneisens, bei welcher auf die Oxyde des Eisens keine Rücksicht genommen war, bereits vor zehn Jahren mitgetheilt [1]).

Der Gehalt vom Eisenoxydul fand sich = 8,60 Proc.; der Verlust in Wasserstoff betrug 27,0 Proc.

	früher.	später.	Mittel.		Sauerstoff.
Titansäure	9,53	8,82	9,18 =	9,18	3,66
Eisenoxyd	91,42	91,52	91,47	81,92	24,57
Eisenoxydul				8,60	1,91
	100,95	100,34	100,65	99,70	

Hier ist der Sauerstoff von $\dot{Fe} : \ddot{Ti} : \dddot{Fe} = 1 : 1{,}9 : 12{,}8$, also ebenfalls $= 1 : 2 : 12$, so dafs dieses Titaneisen dem von Snarum gleich zusammengesetzt ist. $\frac{3{,}66}{4} + \frac{24{,}57}{3} = 9{,}20$. Durch Kupfer fand ich 9,51 Proc. Sauerstoff. Derjenige der Eisenoxyde beträgt 26,48 Proc., während der Versuch 27,0 ergeben hat.

XI. Vom St. Gotthardt. Eisenrose.

Die bekannte Eisenrose unterscheidet sich vom Eisenglanz schon durch die schwarze Farbe ihres Pulvers. Das spec. Gewicht ist

nach Breithaupt = 5,005 — 5,009
nach meinen Wägungen früher = 5,209
an anderen Stücken später = 5,187

Eine Analyse v. Kobell's hatte gegeben

		Sauerstoff.
Titansäure	12,67	5,05
Eisenoxyd	82,49	24,75
Eisenoxydul	4,84	1,07
	100.	

1) III. Suppl. zu meinem Handwörterb. S. 122.

Die Gesammtmenge des Eisens als Oxyd beträgt 87,87 Proc.

Der Sauerstoff von $\dot{Fe} : \ddot{Ti} : \ddot{Fe}$ ist nahe $= 1 : 5 : 25$. Betrachtet man mit v. Kobell die beim Auflösen sich abscheidende Titansäure als beigemengt, so giebt dies Titaneisen nur 9,66 Proc. derselben, neben 90,9 Eisenoxyd. Aber auch dann ist noch immer jenes Verhältnifs $= 1 : 3$.

Ich habe schon vor längerer Zeit ein Exemplar der Eisenrose untersucht (*a*), welches ich von Hrn. Wiser in Zürich erhielt; und neuerlich ein anderes (*b*). Beide waren nicht magnetisch. In der ersten Analyse ist auf die Bestimmung beider Oxyde keine Rücksicht genommen.

Bei *b* betrug der Verlust in Wasserstoff 26,90 Proc.

Die Menge des Eisenoxyduls

durch Chamäleon 8,41
durch die Jodprobe 7,63.

	a.	*b.*		Sauerstoff.	
Titansäure	8,10	9,10	= 9,10		3,63
Eisenoxyd	93,70	91,89	83,41		25,02
Eisenoxydul			7,63	1,69	1,79
Manganoxydul		0,44	0,44	0,10	
Talkerde		Spur	Spur		
	101,80	101,43	100,58		

Das Sauerstoffverhältnifs ist hier $= 1 : 2{,}0 : 14$. Setzt man $1 : 2 : 12$ dafür, so ist die Eisenrose den beiden vorigen gleich.

XIII. Titaneisen oder Eisenglanz von Krageröe.

Bei der Isomorphie beider Mineralien kann es nicht befremden, den Titangehalt sich immer mehr vermindern zu sehen, so dafs es ungewifs bleibt, ob eine derartige titanarme isomorphe Mischung zu dem einen oder anderen gerechnet werden mufs.

Dieser Fall tritt bei dem bisher sogenannten *Eisenglanz* von Krageröe ein, bei welchem G. Rose das höchste spec. Gewicht, noch etwas höher, als bei dem von Elba fand.

Ein von Demselben mir übergebenes gröfseres Bruchstück zeigte zwei parallele sehr glänzende Flächen mit dreiseitiger Streifung, wahrscheinlich die Endflächen; von sonstigen nur schwache Andeutungen. Es war sehr schwach magnetisch. Das spec. Gewicht ist

5,230 nach G. Rose,
5,2406 nach meinen Wägungen,

also noch etwas gröfser, und doch kann das Mineral mit gleichem Recht ein Titaneisen heifsen. Das Pulver ist braunschwarz.

Der Verlust im Wasserstoffgas war = 28,94 Proc., zum Beweise, dafs es kein reines Eisenoxyd seyn kann.

Die Eisenprobe mit Chamäleon gab 3,26 Proc., die mit Jod 2,70 Proc.

Das Resultat der Analyse ist:

			Sauerstoff.
Titansäure	3,55 =	3,55	1,41
Eisenoxyd	97,25	93,63	28,09
Eisenoxydul		3,26	0,72
	100,80	100,44	

Das Sauerstoffverhältnifs von $\dot{Fe} : \ddot{Ti} : \ddot{Fe}$ ist = 1 : 2 : 39, die Formel also

$$\dot{Fe}\,\ddot{Ti} + 13\,\ddot{Fe} = \ddot{Fe}^{2\,7}\,\ddot{Ti}.$$

Gewifs hat der *Eisenglanz aus dem Tavetschthal* in Graubündten (haplotypes Eisenerz nach Breithaupt) eine ähnliche Zusammensetzung. Sein spec. Gewicht, nach Breithaupt = 4,91, wenn auch wohl zu niedrig bestimmt, deutet schon darauf hin, dafs es kein reiner Eisenglanz ist, auch rechnete Jener es schon zu den Titaneisen. v. Kobell fand darin [1]) 10 Proc. Titansäure, glaubt aber, dafs davon der gröfsere Theil dem Rutil angehöre, mit welchem das Mineral regelmäfsig verwachsen ist, so dafs er nur 3,57 Proc. als wirklichen Bestandtheil ansieht. Von Eisenoxydul fand er nur Spuren. Eine Prüfung mittelst der neueren viel empfindlicheren Methoden würde wohl auch hier bestä-

1) Journ. f. pr. Chem. 14, 407.

tigen, was ich bei allen angeführten Titaneisen constant gefunden habe, und was auch eine nothwendige Folge von H. Rose's Theorie ist; dafs nämlich so viel Eisenoxydul gefunden werden mufs, als zu $\dot{F}e\,\ddot{T}i$ gehört. Und dies würde genau so viel wie in dem Mineral von Krageröe, nämlich $3\frac{1}{4}$ Proc. seyn.

XIII. Eisenglanz von Elba.

Nach einer Bemerkung von H. Rose[1]) hat Berzelius schon vor langer Zeit in den meisten Eisenglanzen, z. B. in dem von Elba, mehrere Procente Titansäure gefunden. Dies veranlafste mich zu einer Prüfung dieses Eisenglanzes.

Buntangelaufene Krystalle, sehr schwach magnetisch, zeigten ein spec. Gewicht = 5,241. Ihr Pulver verlor im Wasserstoffstrom 30,1 Proc., und das reducirte Eisen hinterliefs beim Auflösen in verdünnter Schwefelsäure einen geringen Rückstand, 0,37 Proc. des Erzes betragend, der vor dem Löthrohr die Reaktionen der Kieselsäure und der Titansäure gab.

Andere sehr scharfe, reine, starkglänzende Krystalle zeigten ein spec. Gew. = 5,283 (G. Rose fand es an ganzen Krystallen = 5,191 — 5,214; Breithaupt giebt 5,261 als höchste Zahl beim Eisenglanz). Sie wurden ebenfalls vom Magnet schwach angezogen; ihr Pulver verlor bei der Reduktion 30,0 Proc., und das reducirte Eisen hinterliefs nur 0,3 Proc. eines weifsen Pulvers, das vor dem Löthrohr sich wie Kieselsäure, ohne Anzeichen von Titan verhielt. Dagegen enthält dieser Eisenglanz 0,46 Proc. Talkerde.

Auch ein wenig *Eisenoxydul* fehlt dem Elbaer Eisenglanz nicht. Zwei Chamäleonproben ergaben 0,67 — 0,81 Proc. desselben.

XIV. Eisenglanz vom Vesuv.

Sehr schöne, dicktafelartige Krystalle, welche ich Herrn G. Rose verdanke, und an denen nichts fremdartiges zu entdecken war, von dunkelbraunem Pulver, besitzen *das*

1) Diese Ann. Bd. 1, S. 81.

höchste spec. Gewicht, welches am Eisenglanz vorkommt, nämlich 5,303.

Es befremdete mich, dafs das Pulver bei der Reduction nicht so viel wie reines Eisenoxyd (30 Proc.), sondern nur 29,46 Proc. verlor. Das reducirte Eisen löste sich in verdünnten Säuren vollständig auf, gab aber bei der weiteren Analyse 0,74 Proc. Talkerde. Der geringere Sauerstoffgehalt beruht aber hier auf einem ansehnlichen Gehalt an *Eisenoxydul*, von welchem die Chamäleonprobe 3,11 Proc. anzeigte. Hiernach enthält dieser krystallisirte Eisenglanz

		Sauerstoff	
Eisenoxyd	96,15	28,84	29,53
Eisenoxydul	3,11	0,69	
Talkerde	0,74		
	100.		

Die Differenz im Sauerstoffgehalt macht also nur 0,07 Proc. aus.

Sehr auffallend war es, dafs das grobe Pulver dieses Eisenglanzes vom Magnet sehr lebhaft angezogen wird. Ich rieb daher den Rest der Krystalle sehr fein, und zog sie mittelst eines Magnetstabs unter Wasser aus. Der ausgezogene und getrocknete Antheil hatte die Farbe des Ganzen, *verlor aber in Wasserstoffgas nur* 28,21 *Proc.* Die geringe Menge der Substanz gestattete keine weiteren Versuche, indessen ist so viel klar, dafs dieser Theil sehr reich an Eisenoxydul seyn mufs. Denn eine Substanz, welche aus 71,8 Eisen und 28,2 Sauerstoff besteht, enthält 77 Proc. Eisenoxyd und 23 Proc. Eisenoxydul, d. h. sie besteht aus 2 At. Eisenoxydul und 3 At. Eisenoxyd.

Man kann den Eisenoxydulgehalt des Eisenglanzes in zweifacher Art erklären. Entweder enthält das Mineral Magneteisen beigemengt, aus welchem oder mit welchem gleichzeitig der reine Eisenglanz sich bildete. Oder Eisenoxyd ist isomorph mit Eisenoxydul, eine Ansicht, die mit demjenigen ganz in Einklang steht, was ich in meiner Abhandlung über Augit und Hornblende aus den Analysen die-

ser Mineralien geschlossen habe, nämlich die Isodimorphie der Monoxyde und Sesquioxyde.

Es wird dieser Gegenstand noch weiterhin bei den merkwürdigen Oktaëdern von Eisenglanz, die ebenfalls am Vesuv sich gebildet haben, zur Sprache kommen.

Titaneisen von abweichender Zusammensetzung.

Während alle krystallisirten und derben Titaneisen, die im Vorhergehenden behandelt sind, eine allgemeine Formel geben, entweder

$$\dot{Fe}\,\ddot{Ti} \qquad \dddot{Fe}\,\ddot{Ti}$$
$$\dot{Fe}\,\ddot{Ti} + n\,\dddot{Fe} \quad \text{oder} \quad \dddot{Fe} \cdot \ddot{Ti},$$

kommen allerdings auch anders zusammengesetzte vor. Allein dieselben sind entweder derb oder doch nicht deutlich erkennbar krystallisirt, so dafs man nicht wissen kann, ob sie reine Verbindungen oder Gemenge sind.

I. Iserin. Unter mehreren Pfunden Iserinkörner konnte ich einige auslesen, welche in ihren abgerundeten Umrissen doch an die Oktaëderform erinnern, wobei der Gedanke an eine rhomboëdrische Combination mit der Endfläche näher liegt, als an reguläre Oktaëder.

Vier solcher Körner zeigten als grobes Pulver ein spec. Gew. = 4,400, also ein viel geringeres, als die beiden oben beschriebenen Abänderungen. Das Pulver wurde vom Magnet ziemlich stark angezogen.

In Wasserstoffgas war der Verlust = 10,54 Proc., also auch viel geringer als früher. Die Chamäleonprobe lieferte 26 Proc. Eisenoxydul. Diefs nebst den Resultaten der Analyse selbst giebt:

			Sauerstoff.	
Titansäure	57,19 =	57,19		22,80
Eisenoxyd	44,57	15,67		4,70
Eisenoxydul		26,00	5,77	6,46
Talkerde	1,74	1,74	0,69	
	103,50	100,60		

Der Sauerstoff der Eisenoxyde ist nach der Analyse also = 10,47 (gefunden 10,54).

Hier ist also die Menge der Titansäure um 15, resp. 20 Proc. gröfser, als in den oben angeführten Analysen, um 3 Proc. gröfser, als sie H. Rose in einem sehr magnetischen Korn fand. Aber auch das Verhältnifs des Eisenoxyduls zur Titansäure ist hier ein ganz anderes. Es verhalten sich nämlich $6{,}46 : 4{,}70 : 22{,}80 = 4{,}1 : 3 : 14{,}5$, d. h. die Basen zusammen enthalten halb so viel Sauerstoff, als die Säure $\left(4{,}70 + 6{,}46 = 11{,}14 \text{ ist } = \frac{22{,}32}{2}\right)$. Dieser Iserin wäre also ein Titanat von Eisenoxydul und Eisenoxyd,

$$4\dot{\text{Fe}}\,\ddot{\text{Ti}} + \dddot{\text{Fe}}\,\ddot{\text{Ti}}^3.$$

Natürlich läfst sich eine solche Formel nicht nach der Theorie H. Rose's umwandeln. Denn wenn man auch annehmen wollte, dafs eine solche aus 7 At. Eisen, 6 At. Titan und aus Sauerstoff bestehende Substanz von letzterem nicht 21 At. sondern nur $19\frac{1}{2}$ enthalte, d. h.

$$\dddot{\text{Fe}}^6\,\ddot{\text{Ti}}^7$$

sey, so läfst sich doch eine solche Annahme durch die Analyse widerlegen.

Die Titensäure, als Titanoxyd vorausgesetzt, entsteht durch Aufnahme von $\frac{1}{4}$ ihres Sauerstoffs, indem sie so viel Eisenoxydul erzeugt, dafs dessen Sauerstoff doppelt so grofs als dieser Antheil ist. Nun sind $\frac{22{,}8}{4} = 5{,}7$ Sauerstoff; das entstandene Eisenoxydul enthält mithin 11,4, was 51,8 Proc. Eisenoxydul, entsprechend 57,5 Eisenoxyd ausmacht. Hier kann mithin von Fehlern der Analyse nicht entfernt die Rede seyn.

Wenn dieser Iserin ein Gemenge wäre, so könnte nur freie Titansäure beigemengt seyn, und zwar, wie eine leichte Rechnung lehrt, 28,19 Proc. Eine solche Annahme dürfte aber um so weniger wahrscheinlich seyn, als dieſs Mineral offenbar krystallisirt, wenn auch nicht mehr deutlich erkennbar ist. Ich bin der Ansicht, dafs es eine titansaure Verbindung beider Oxyde des Eisens ist. Sollten sich Exemplare von der Form der übrigen Titaneisen finden, so sehe ich darin nur eine Bestätigung der bei Augit und Horn-

blende gefundenen Isomorphie der Salze von $\dot{R}$ und $\ddot{R}$, dort der Silicate, hier der Titanate.

II. *Titaneisen aus dem Basalt von Unkel.* In einer kleinen vor 17 Jahren publicirten Notiz [1]) habe ich gezeigt, dafs dieses früher »schlackiges Magneteisen« genannte Mineral 11 Proc. Titansäure enthält. Bei der Analyse war die Methode der Scheidung mittelst kohlensauren Baryts angewandt; schon dieser Umstand machte eine Wiederholung wünschenswerth.

Das Mineral erscheint durchaus derb, von muschligem Bruch, und hat ein spec. Gew. = 4,905.

Der Reduktionsverlust in Wasserstoff betrug in

a 23,02 Proc.
b 22,42 »

An Eisenoxydul wurde gefunden:

durch Chamäleon 37,23 Proc.
37,20 »
durch Jod 36,30 »

	a.	*b.*	Mittel			Sauerstoff
Titansäure	8,00	8,53	8,27 =	8,27		3,30
Eisenoxyd	93,68	92,63	93,16	51,81		15,54
Eisenoxydul				37,22	8,26	
Manganoxydul	2,06	2,00	2,03	2,03	0,46	9,03
Talkerde	0,71	0,84	0,78	0,78	0,31	
	104,45	104,00	104,24	100,11		

Die Sauerstoffmengen verhalten sich = 1 : 4,7 : 2,7. Setzt man dafür 1 : 4,5 : 2,75, so enthält die Substanz 2 $\ddot{T}i$, 6 $\ddot{F}e$, 11 $\dot{F}e$, möglicherweise als

$$2\dot{F}e\,\ddot{T}i + 3\dot{F}e^{3}\,\ddot{F}e^{2}$$

zu denken. Bemerkenswerth ist jedenfalls der Ueberschufs an Eisenoxydul, im Vergleich zum Magneteisen.

Ganz dieselbe Verbindung hat Rhodius [2]) aus dem zersetzten Basalt des Virnebergs bei Rheinbreitbach untersucht, und daraus 9,63 Titansäure und 94,12 Eisenoxyd erhalten.

1) Diese Ann. 53, 129.
2) Ann. d. Chem. u. Pharm. 63, 218.

Leider ist das in der Auflösung vorhandene Eisenoxydul nicht bestimmt worden.

Ich habe schon früher darauf aufmerksam gemacht, dafs man diese beiden Substanzen als *Magneteisen* betrachten könne, in welchem ein Theil des Eisenoxyds durch Titanoxyd ersetzt sey, d. h. als isomorphe Mischungen von

$$\dot{Fe}\,\ddot{Fe} \text{ und } \dot{Fe}\,\ddot{Ti}.$$

Man erhält dann:

Unkel.

		Sauerstoff		
Titanoxyd	7,45	2,47	20,48	2,8
Eisenoxyd	60,03	18,01		
Eisenoxydul	29,80	6,61	7,38	1
Manganoxydul	2,03	0,46		
Talkerde	0,78	0,31		
	100,09.			

Rheinbreitbach.

		Sauerstoff	
Titanoxyd	8,69	2,80	21,18
Eisenoxyd	61,27	18,38	
Eisenoxydul	31,80		7,06
	101,76		

während die Analyse 51,86 Eisenoxyd und 40,27 Oxydul hätte geben müssen.

Beide wären

$$8\dot{Fe}\,\ddot{Fe} + \dot{Fe}\,\ddot{Ti}.$$

III. *Titanhaltiger Eisensand.* Klaproth, Cordier u. A. haben zahlreiche Abänderungen jener mehr oder weniger feinen schwarzen magnetischen Körner untersucht, welche in vulkanischen Gegenden, am Ufer von Seen und Flüssen vorkommen. Da sie leicht aus verschiedenen Mineralien bestehen können (Magnet-, Titan-, Chromeisen etc.), so hat ihre Analyse ein untergeordnetes Interesse. Ich theile hier nur eine solche von dem feinen sehr magnetischen Eisensande mit, welchen ich am Ufer des *Müggelsee's* oberhalb Berlin gesammelt habe, wo er, besonders nach Nordwestwinden, dem weifsen Quarzsand wie ein schwar-

zes Band aufliegt. Er läfst sich mittelst des Magnets unter Wasser von Quarzkörnern befreien, und bildet feine schwarze Körner, die unter dem Mikroskop sich theils in unbestimmten Umrissen, theils als deutliche an den Kanten abgerundete anscheinend reguläre Octaëder darstellen.

Das spec. Gew. = 5,075. Das Pulver ist schwarz.

Verlust in Wasserstoffgas			25,60 Proc.	
Eisenoxydul durch Chamäleon			30,14 »	
Eisenoxydul durch Jod			30,35 »	
			Sauerstoff	
Titansäure	5,20	= 5,20		2,07
Eisenoxyd	94,97	61,36		18,41
Eisenoxydul		30,25	6,71	
Manganoxydul	1,23	1,23	0,27	7,17
Talkerde	0,48	0,48	0,19	
	101,88	98,52.		

Der Sauerstoff der Eisenoxyde ist also = 25,12 (gef. 25,60).

Nimmt man die Titansäure als $\dot{Fe}\,\ddot{Ti}$ an, so bleibt gerade Magneteisen übrig, so dafs das Ganze durch

$$\dot{Fe}\,\ddot{Ti} + 6\,\dot{Fe}\,\ddot{Fe}$$

oder

$$\ddot{Fe}\,\ddot{Ti} + 12\,\dot{Fe}\,\ddot{Fe}$$

bezeichnet wird, wenn es auch wohl nur ein Gemenge ist.

In regulären Formen krystallisirende Eisenoxyde.

Dafs es Titaneisen von regulärer Form (Octaëder, Würfel) gebe, wird zwar behauptet, ist jedoch niemals durch eine Analyse nachgewiesen; meine Bemühungen, solche Krystalle zu erlangen, sind bisher fruchtlos gewesen.

Magneteisen.

Das wichtigste regulär krystallisirte Erz dieser Art. Bekanntlich hat Berzelius dargethan [1]), dafs es Oxydoxydul, $\dot{Fe}\,\ddot{Fe}$, ist, obwohl die benutzten schwedischen Erze nicht so rein waren, dafs die Resultate ganz genau seyn

1) Schweigg. Journ. 15, 290.

konnten. Seine Berechnung gründete sich auf die Quantität Eisenoxyd, welche er aus dem Magneteisen nach vollständiger Oxydation desselben erhielt.

Als v. Kobell [1]) später in sehr reinen Magneteisenkrystallen aus dem Zillerthal nach Fuchs's Methode beide Oxyde direkt bestimmte, bekam er sie in einem solchen Verhältnifs, dafs das Oxyd nicht dreimal, sondern viermal so viel Sauerstoff als das Oxydul enthielt. Der Unterschied ist:

	$\dot{Fe}\ \ddot{Fe}$	
3 At. Eisen	= 1050	= 72,41
4 » Sauerstoff	= 400	= 27,59
	1450	100.
1 At. Eisenoxyd	= 1000	= 68,97
1 » Eisenoxydul	= 450	= 31,03
	1450	100.

$100\ \dot{Fe}\ \ddot{Fe} = 103{,}45\ \ddot{Fe}$

	$\dot{Fe}^3\ \ddot{Fe}^4$	
11 At. Eisen	= 3850	= 71,96
15 » Sauerst.	= 1500	= 28,04
	5350	100
4 At. Eisenoxyd	= 4000	= 74,77
3 » Eisenoxydul	= 1350	= 25,23
	5350	100.

$100\ \dot{Fe}^3\ \ddot{Fe}^4 = 102{,}8\ \ddot{Fe}$

v. Kobell erhielt nämlich 74,08 — 75,52 Proc. Oxyd, und später [2]) aus nicht ganz reinem Arendaler Magneteisen

		Sauerstoff		
Eisenoxydul	21,48	4,77	5,22	1
Manganoxydul	2,00	0,45		
Eisenoxyd	73,84		22,15	4,2

Indessen gab er mit Rücksicht auf die von Abich damals untersuchte Spinellgruppe zu, dafs die Formel $\dot{Fe}\ \ddot{Fe}$

1) Ebend. 62, 195.
2) Ebend. 64, 429.

die richtigere sey. Da jedoch seine späteren Versuche [1]) wieder 75 Proc. Eisenoxyd in den Tyroler Krystallen gaben, so nahm er wenigstens für diese seine frühere Formel an, und überliefs es Anderen, darzuthun, ob etwas Eisenoxyd beigemengt sey.

Vermittelst metallischen Kupfers fand sodann Fuchs [2]), dafs 100 Th. Magneteisenstein = 102,83 Eisenoxyd sind, und dafs sie 68,46 Proc. desselben schon enthalten. Die Zahlen zeigen, dafs diese Methode nicht für genaue Versuche pafst, da die erste Zahl für $\dot{Fe}^3 \ddot{Fe}^4$, die zweite für $\dot{Fe}\,\ddot{Fe}$ spricht.

Ich habe mich mit der Untersuchung von Magneteisensteinen weniger in der Absicht beschäftigt, die Richtigkeit von Berzelius's Annahme zu beweisen, welche dessen nicht bedarf, obwohl es nicht überflüssig war, die neueren volumetrischen Methoden an diesem Mineral zu probiren, sondern hauptsächlich, um sie auf einen *Titan*gehalt zu prüfen. Karsten [3]) will nämlich dieses Metall in octaëdrisch krystallisirtem Magneteisen aus dem Zillerthal und von Dannemora gefunden haben.

I. Vom Greiner im Zillerthal.

Schöne Octaëder, in Chloritschiefer eingewachsen. Ihr spec. Gewicht ist = 5,148.

Verlust in Wasserstoff: 25,71 — 26,63 Proc.

Eisen als Oxyd bestimmt: 101,33 = 70,93 Eisen

Eisenoxydul:

durch Chamäleon:	durch Jod:
32,82 Proc.	32,76 Proc.
32,54 »	

Diese letzteren Proben gaben also etwas zu viel Eisenoxydul, wogegen die geringere Menge Eisen und Sauerstoff von fein eingesprengten Chloritblättchen herrührt, welche beim Auflösen des reducirten Eisens zurückblieben. *Titansäure liefs sich nicht auffinden.*

1) Journ f. pr. Chem. 1, 86.
2) Ebend. 17, 169.
3) Dessen Archiv Bd. 16, S. 17.

Als eine Probe mit Chlorwasserstoffsäure und metallischem Kupfer ohne Erwärmung behandelt wurde, entsprach das aufgelöste Kupfer 7,00 Proc. Sauerstoff, d. h. 70 Proc. Eisenoxyd.

II. Von Traversella.

Granatoëder. Spec. Gewicht = 5,106.

Verlust in Wasserstoff = 26,54 Proc.

Beim Auflösen des reducirten Eisens blieben 1,6 Proc. Rückstand, worin Kieselsäure, aber keine Titansäure enthalten war. Als das Eisen oxydirt und durch Ammoniak gefällt war, fanden sich noch 0,18 Proc. Talkerde. Die Menge des Eisens, als Oxyd bestimmt, war 101,77 Proc. = 71,24 Eisen.

Eisenoxydulbestimmung

durch Chamäleon.	durch Jod.
29,16 Proc.	27,18 Proc.
31,18 »	27,32 »
	27,61 »

III. Von Balmy im Alathal.

Gleichfalls Granatoëder. Spec. Gew. = 5,185.

Verlust in Wasserstoff = 27,14 Proc., nur um 0,45 Proc. von der Rechnung abweichend. Allein diese Krystalle waren auch sehr rein; das reducirte Eisen hinterliefs beim Auflösen nur eine unwägbare Spur.

Eisenoxydul

durch Chamäleon.	durch Jod.
30,24 Proc.	30,93 Proc.

Es ist diefs wohl diejenige unter allen Analysen, welche die Richtigkeit der Formel am genauesten beweist.

IV. Von der Stopfelskuppe bei Eisenach.

Senfft führt an [1]), dafs auf dem bekannten Basalt, der dort gangförmig in die Höhe gestiegen ist, schön krystallisirte Ueberzüge von *titanhaltigem Magneteisen* vorkommen.

1) Klassifikation und Beschreibung der Felsarten. Breslau 1857, S. 275.

Durch die Güte des genannten Beobachters erhielt ich ein Stück Basalt mit diesen Krystallen. Es sind Octaëder, mit vierflächiger auf die Flächen aufgesetzter Zuspitzung der Ecken durch das Leucitoïd $a : a : \frac{1}{3}a$. Ich fand den Winkel in den Combinationskanten $150\frac{3}{4}°$ (ber. 150° 30′). Es war nicht möglich, diese Krystalle ganz rein abzusondern, theils von Basalttheilchen, theils von Brauneisenstein, der an der Gränze beider sich gebildet hat. Deshalb war ihr spec. Gewicht auch wohl nur = 4,940. Sie sind stark magnetisch.

Ein Theil, durch Abschlämmen möglichst gereinigt, verlor in Wasserstoffgas 24,92 Proc. und ein anderer Versuch gab 24,12 Proc.

Eisenoxydul durch Chamäleon: 26,90 Proc.
27,88 »

Wurde das reducirte Eisen mit verdünnter Säure aufgelöst, so blieb eine gewisse Menge Basalt zurück, welche bei der Analyse in Abrechnung kommen mufste. In diesem Rückstande fand sich in der That eine sehr geringe, höchstens 0,1 Proc. betragende Menge *Titansäure*, nur durch das Löthrohr nachweisbar. Bemerkenswerth ist aber der *Talkerde*gehalt dieses Magneteisens, der nicht vom Basalt herstammt.

Die Analyse gab:

				Sauerstoff.
Eisenoxyd	100,86	= 69,88		20,96
Eisenoxydul		27,88		
Talkerde	1,20	1,20	6,19	6,67
Titansäure	0,10	0,10	0,48	
	102,16	99,06.		

Sauerstoff der Eisenoxyde = 27,15 Proc. Durch Behandlung mit Kupfer in der Kälte wurden 7,55 Proc. Sauerstoff $\left(\frac{20,96}{3} = 7,00\right)$ angezeigt.

Das Erz ist also reines Magneteisen,

$$\left.\begin{matrix}\dot{\mathrm{Fe}}\\ \dot{\mathrm{Mg}}\end{matrix}\right\} \cdot\cdot\cdot \ddot{\mathrm{Fe}}.$$

V. Magneteisen von Norberg in Westmanland.

Blättrige derbe Massen, in Talkschiefer eingewachsen. Ich erhielt dieses Erz als Titaneisen; es enthält aber keine Spur Titan.

Sein spec. Gewicht ist = 5,002 (durch anhängende Talkblättchen wohl etwas zu niedrig).

Gesammtmenge des Eisens als Oxyd: 102,96.

Oxydul, durch Chamäleon: 28,00.

Hiernach in 100:

		Sauerstoff.
Eisenoxyd	71,85	21,55
Eisenoxydul	28,00	6,21
	99,85.	

VI. Martit.

Haidinger beschrieb [1]) zuerst die regulären Octaëder aus Brasilien, welche den rothen Strich des Eisenglanzes geben, und erklärte sie für eine Pseudomorphose von Magneteisen. Er beobachtete darin Zusammenhäufungen kleiner, dem Eisenglanz ähnlicher Krystalle. Breithaupt [2]) nannte sie *Martit* und fand ihr spec. Gew. = 4,81 — 4,83. Ferner beschrieb er *kaminoxenes Eisenerz*, Octaëder, in Combination mit Granatoëdern, von ähnlichen Eigenschaften, einem spec. Gew. = 5,02, in Sachsen und Thüringen vorkommend, jedoch nicht auf eine Pseudomorphose hindeutend. v. Kobell [3]) fand den Martit wesentlich aus Eisenoxyd bestehend, aber die Frische der Krystalle und ihre Spaltbarkeit nach dem Octaëder liefsen ihn eher an eine Dimorphie des Eisenoxyds als an eine Pseudomorphose denken, wie eine solche bei dem Eisenbisulfuret bekannt ist. Zu Framont kommen lebhaft glänzende Octaëder in Thon, in Quarz und in Eisenglanz eingewachsen vor, welche nicht magnetisch, nach Berthier aber reines Eisenoxyd sind. Blum, welcher das

1) Diese Ann. Bd. 11, S. 188.
2) Schweigg. Journ. 54, 158.
3) Ebendas. 62, 196.

Vorkommen dieser Substanzen zusammengestellt hat [1]), beobachtete an Stücken aus Brasilien, dafs die im Innern des Gesteins liegenden Krystalle noch unverändertes Magneteisen, die der Verwitterungsrinde näher liegenden aber Martit sind.

Ich habe einige Versuche mit dem Martit aus Brasilien angestellt. Das spec. Gewicht ist, mit Sorgfalt bestimmt, = 5,155, erreicht also nicht das des Eisenglanzes. Er wird von einem Magnet in geringem Grade angezogen. In Wasserstoffgas reducirt, verlor er 29,59 Proc., aber das reducirte Eisen hinterliefs beim Auflösen nur eine geringe Menge Kieselsäure. Dagegen fand sich Eisen*oxydul*, und zwar

durch Chamäleon.	durch Jod.
2,30 Proc.	1,96 Proc.
1,83 »	
1,84 »	

Es ist wohl bisjetzt noch nicht möglich, mit Sicherheit zu entscheiden, ob das Mineral eine Pseudomorphose sey oder nicht. Man kann den Eisenoxydulgehalt recht wohl als einen Beweis seiner Entstehung aus Magneteisen ansehen, und darin auch den Grund des niedrigen spec. Gewichts finden. Andrerseits läfst sich nicht verkennen, dafs manche Umstände, wie das Vorkommen, fest eingewachsen in anderen Mineralien, der Idee v. Kobell's günstig sind.

VII. Octaëdrisches Eisenerz vom Vesuv.

Schon Haidinger beschreibt bei Gelegenheit des Martits eine Krystallgruppe vom Vesuv aus Allan's Sammlung, Octaëder in rohen Umrissen, bestehend aus einer grofsen Menge tafelartiger rhomboëdrischer Combinationen von Eisenglanz, von denen einige parallel den Octaëderflächen liegen, und, über letztere hinausragend, auf denselben eine netzförmige Zeichnung hervorbringen.

Solche Octaëder müssen sich am Vesuv zu sehr verschiedenen Zeiten gebildet haben, am genauesten sind aber

1) Pseudomorphosen S. 32.

diejenigen, welche der Eruption vom J. 1855 ihre Entstehung verdanken, in der schönen Arbeit von Scacchi, Palmieri und Guarini untersucht und beschrieben worden [1]). Jene Eruption zeichnete sich durch die grofse Menge von Eisenglanz aus, welcher seit den ersten Tagen derselben auf den Schlacken der kleinen Kegel gleichwie der fliefsenden Lava sich bildete. Viel interessanter aber sind *Octaëder*, welche durch Messungen als *regulär* sich ergaben und deren Kanten oft durch die Flächen des Granatoëders abgestumpft werden. Sie sind auf einigen der kleinen Kegel am schönsten vorgekommen. Gewöhnlich befinden sich auf den Octaëderflächen Zeichnungen von Dreiecken, hervorgebracht durch Linien, welche den Octaëderkanten parallel gehen. Diese Linien sind erhaben, setzen sich oft, über die Granatoëderflächen hinweg, über den ganzen Krystall fort, und lassen sich bei stärkerer Vergröfserung als die vorstehenden Ränder äufserst dünner parallel eingewachsener rhomboëdrischer Tafeln von Eisenglanz erkennen, welche parallel den Octaëderflächen liegen. Sie haben überdiefs, obwohl wegen ihrer Kleinheit nicht meſsbar, ganz und gar die Form der kleinen Eisenglanzblättchen, welche neben und zwischen den Octaëdern vorkommen.

Im Innern bestehen die Octaëder aus einem Gewirr der Blättchen, zwischen denen oft kleine Hohlräume geblieben sind. Ihr Pulver ist sehr dunkel rothbraun, und zwar (und diefs ist eine sehr wichtige Bemerkung) geben Octaëder mit wenigen erhabenen Linien ein *dunkleres* Pulver als die übrigen. Sie sind *stark magnetisch.*

Mit vollem Recht hat die Natur dieser Krystalle die Aufmerksamkeit der neapolitanischen Forscher in hohem Grade erregt. Sie werfen die Frage auf, ob es nicht Verwachsungen von Eisenglanz und *Magneteisen* seyen, wofür

1) *Memoria sullo Incendio Vesuviano del mese di maggio* 1855, *fatta per incarico della R. Accad. delle Scienze dai Socii G. Guarini, L. Palmieri ed A. Scacchi. Napoli* 1855. Roth, der Vesuv. Berlin 1857, S. 313.

Form und Magnetismus sprechen. Indessen konnten sie durch Kaliumeisencyanid kein Eisenoxydul darin finden, ebensowenig wie Titansäure.

Schon früher hatte Scacchi [1]) auf Laven von Lipari und vom Lago d'Agnano rauhe, innen zum Theil hohle Octaëder beobachtet.

Noch gröfsere als die vom Jahre 1855 hatten sich in dem Fosso di Cancherone, einer alten Ausbruchs-Bocca der Somma gefunden; sie sind jedoch weniger scharf ausgebildet, im Innern dicht, schwächer magnetisch, und im Pulver von einer dem Eisenglanz gleichen Farbe, daher sie Scacchi als regelmäfsige Verwachsungen von Eisenglanzrhomboëdern gedeutet hat [2]).

Es fragt sich: Waren die Octaëder früher Magneteisen, welches später in Eisenglanz verwandelt wurde? wie Viele für den Martit annehmen. Scacchi erklärt sich gegen diese Annahme, weil die vulkanischen Sublimate *nur* aus Eisenglanz, nicht aus Magneteisen bestehen. Oder sind sie aus Eisenoxyd entstanden, welches in der hohen Temperatur zu Oxydoxydul wurde? Dann aber müfsten sie, nach Scacchi, die rhomboëdrische Form im Aeufseren noch besitzen; dann müfsten sie, wie wir hinzufügen dürfen, auch Eisenoxydul enthalten.

Endlich aber: Ist das Eisenoxyd dimorph? Scacchi neigt sich dieser Ansicht zu, überläfst es aber späteren Beobachtungen, den erforderlichen Beweis zu liefern.

Obgleich durch diese Beobachtungen und Versuche die jetzige chemische Natur der Octaëder als Eisenoxyd festzustehen schien, benutzte ich doch die Gelegenheit, sie einer quantitativen Analyse zu unterwerfen, auch wenn dadurch kein Aufschlufs über ihren Ursprung als ächte Krystalle oder Pseudomorphosen zu gewinnen war. Aber schon die ersten Schritte bei dieser Untersuchung, die Bestimmung

1) *Memor. geol. sulla Campania. Napoli* 1849, *p.* 125. *Rendic. Accad. Sc. Nap.* 1850. *IX.* 108.

2) *Esame cristallogr. del ferro oligisto e del ferro ossidulato del Vesuvio. Napoli* 1842.

des spec. Gewichts und die Reduction im Wasserstoffgas, boten so überraschende Resultate, dafs ich überzeugt war, diese vesuvischen Octaëder, obwohl mit Eisenglanz durchwachsen, müfsten ganz etwas anderes als Eisenoxyd seyn, was denn durch die Analyse selbst in sehr eigenthümlicher Art zur Evidenz gelangte. Meine Versuche betreffen die beiden Arten von Octaëdern, welche oben erwähnt wurden.

Durch Hrn. Dr. Roth erhielt ich eine Parthie der kleinen scharf ausgebildeten octaëdrischen Krystalle, welche von dem Ausbruch des Jahres 1855 herstammen, und alle oben angeführten Eigenschaften besitzen. Nur sind sie mit einer weifsen Salzmasse leicht überstäubt, welche ihre Zwischenräume zum Theil ausfüllt. Es ist diefs ein Gemenge löslicher Salze, welches durch Auskochen mit Wasser vollständig entfernt werden kann. Beim Abdampfen der Lösung bleibt eine Salzmasse, in welcher Gypsnadeln und Würfel zu unterscheiden sind. Die qualitative Prüfung zeigte, dafs es Chlorüre und Sulfate insbesondere von Kali, Natron und Kalk mit *sehr wenig* Talkerde sind.

Von diesen Salzen befreit, erschienen die Octaëder vollkommen glänzend, von Eisenglanzblättchen durchwachsen, welche auch zwischen ihnen vorkommen, und bei ihrer geringen Dicke mit rother Farbe durchsichtig sind.

Das spec. Gewicht der ganzen Masse war in zwei Versuchen = 4,654 und 4,659, d. h. *weit niedriger als Eisenglanz* (5,3) *und Magneteisen* (5,18). *Sie wird vom Magnet stark angezogen*, und giebt ein braunschwarzes Pulver.

In einem Strom von trocknem Wasserstoffgas reducirt, verliert dasselbe 25,56 Proc., also noch etwas weniger, als reines Magneteisen, viel weniger, als Eisenoxyd verliert. Die graue Masse hinterliefs beim Auflösen in verdünnter Schwefelsäure einen geringen schwarzen Rückstand, in welchem das Löthrohr einen starken Gehalt an *Kupfer* nachwies, worin aber keine Titansäure enthalten war. Die Lösung des Eisens wurde durch Chlorwasserstoffsäure und chlorsaures Kali oxydirt, stark verdünnt, mit kohlensaurem Na-

tron neutralisirt und nach Zusatz von essigsaurem Natron zum Sieden erhitzt. Das farblose Filtrat enhielt *eine grofse Menge Talkerde.*

Die volumetrischen Proben wiesen *nur eine Spur Eisenoxydul* nach.

Das Resultat der Analyse war:

		Sauerstoff
Eisenoxyd	85,90	25,77
Talkerde	12,43	4,97
Unlösl. Rückstand	1,22	
	99,55.	

Wie man sieht, entspricht der Reductionsverlust in Wasserstoffgas dem Sauerstoffgehalt des Eisenoxyds.

Für eine andere Analyse wurden Krystalle derselben Art benutzt, denen etwas von einer röthlichen erdigen Masse (durch saure Dämpfe zersetzte Lava) anhing. Nach vorgängigem Auskochen mit Essigsäure und Wasser wurde das Pulver mit dem Maguet unter Wasser ausgezogen, wobei sehr deutlich zu sehen war, dafs bei dem erdigen Rückstande auch Eisenglanzblättchen zurückblieben, welche vom Magnet nicht angezogen wurden. Die Analyse des Ausgezogenen, welches durch die Jodprobe wiederum nur eine Spur (0,003 Proc.) Eisenoxydul erkennen liefs, gab:

		Sauerstoff
Eisenoxyd	82,52	24,75
Talkerde	15,68	6,27
Unlösl. Rückstand	2,00	
	100,20	

Es folgt also hieraus, dafs die Krystalle neben Eisenglanz eine magnetische talkerdereiche Verbindung enthalten.

Um jeden Argwohn, als gehöre die Talkerde jener Lavaunterlage der Krystalle an (obwohl sie an den zur ersten Analyse benutzten Krystallen nicht sichtbar war), zu beseitigen, bemerke ich, dafs jene erdige Masse, welche der Magnet zurückliefs, und in welcher etwas Eisenglanz geblieben war, durch eine besondere Analyse als ein Silikat von Thon-

erde, Eisenoxyd, Kalk und nur $\frac{1}{2}$ Proc. Talkerde bestimmt wurde.

Dafs das Vorkommen dieser octaëdrischen Krystalle sich aber nicht auf den Ausbruch des Vesuvs vom Jahre 1855 beschränkt, davon habe ich mich selbst überzeugt. Von Hrn. G. Rose erhielt ich aus dem K. Mineralienkabinet als »Eisenglanz vom Vesuv« ohne speciellere Angabe des Vorkommens ein Stück eines röthlichen Gesteins, in welchem schwärzlicher Augit eingeschlossen war, und welches mit feinkrystallisirtem Eisenglanz bedeckt war, der auch die Risse und Spalten der Masse bekleidete. Mit der Loupe konnte man neben den rhomboëdrischen Blättchen auch hier die Octaëder erkennen, und auf deren Fläche die hervortretenden Linien, ganz wie die beschriebenen Krystalle.

Für die mechanische Sonderung wurde das Ganze zerrieben, geschlemmt, und das Gröbere unter Wasser mit dem Magnet behandelt. Nach Abzug der unvermeidlich mitfolgenden Gesteinsmasse fand ich in dem magnetischen Pulver:

		Sauerstoff
Eisenoxyd	84,35	25,30
Talkerde	15,65	6,26
	100.	

Diefs ist fast genau die im Vorhergehenden gefundene Mischung.

Endlich erwähne ich eines dritten sogenannten octaëdrischen Eisenglanzes vom Vesuv, dessen Mittheilung ich Hrn. Dr. Ewald verdanke. Ein gröfserer Krystall, von octaëdrischem Umrifs, jedoch nicht glattflächig, sondern matt, an den Kanten zugerundet, an den Ecken mit rhomboëdrischen Eisenglanzblättchen besetzt. Er soll aus dem Fosso di Cancherone stammen. Das grobe Pulver wurde vom Magnet stark angezogen, und gab das spec. Gewicht = 5,235, mithin geringer als das des reinen vesuvischen Eisenglanzes, gröfser als das des Magneteisens.

Das feine braunschwarze Pulver verlor in Wasserstoffgas 28,78 Proc., d. h. 3 Proc. mehr als die kleinen glänzen-

den und scharfen Octaëder. Das reducirte Eisen löste sich in verdünnter Säure vollständig auf.

Allein diese Krystalle enthalten wesentlich Eisenoxydul. Es wurden nämlich erhalten

durch die Chamäleonprobe	6,73 Proc.
durch die Jodprobe	5,61 »
im Mittel also	6,17 »

Die Menge des Eisens betrug als Oxyd

99,06
100,46
im Mittel 99,76 Proc.

Die Talkerde hingegen machte nur 0,82 Proc. aus. Aus den Mitteln folgt daher:

			Sauerstoff
Eisenoxyd	92,91		27,87
Eisenoxydul	6,17	1,37	1,70
Talkerde	0,82	0,33	
	99,90		

Es ist durch diese Untersuchungen erwiesen, dafs die octaëdrischen Krystalle vom Vesuv nicht blos aus Eisenoxyd bestehen, sondern eine Verbindung *sind* oder eine solche enthalten, in welcher bald Talkerde, bald Eisenoxydul als wesentliche Bestandtheile auftreten.

Wie oben angeführt, hat Scacchi sich gegen die Ansicht erklärt, dafs diese Octaëder Magneteisen seyen oder seyn könnten, worauf Form und Magnetismus hinführen, 1) weil kein Eisenoxydul zu finden war, und 2) weil unter den vulkanischen Sublimaten das Eisenoxydoxydul überhaupt fehle.

Was den ersten Einwurf betrifft, so wird er durch die vorstehenden Untersuchungen aufgeklärt. Die von Scacchi geprüften Krystalle waren wohl gleichen Ursprunges, wie die welche ich von Hrn. Dr. Roth erhielt. Sie enthalten in der That nur Spuren von Eisenoxydul, dagegen aber eine grofse Menge einer mit demselben isomorphen Basis; und die aus dem Fosso di Cancherone, in welchen letztere zurück-

tritt, enthalten dafür so viel Eisenoxydul, dafs dasselbe auch bei der oberflächlichsten qualitativen Prüfung zu finden ist.

Der zweite Einwurf scheint mir aber noch weniger begründet, da es ja leicht seyn könnte, dafs diese Octaëder selbst das erste Beispiel von der wirklichen Bildung von $\dot{Fe}\,\ddot{Fe}$ oder von $\dot{Mg}\,\ddot{Fe}$ am Vesuv wären. Allerdings hat man *bisher* noch kein gewöhnliches Magneteisen unter den vesuvischen Sublimationen gefunden. Allein man mufs sich erinnern, dafs die zu seiner Bildung, oder zu der Bildung von $\dot{Mg}\,\ddot{Fe}$ nöthigen Bedingungen dort durchaus nicht fehlen. Die im August 1844 gesammelten Salzstalaktiten zerflossen theilweise an der Luft; aus der Flüssigkeit, wie auf den Stalaktiten selbst, bildeten sich viele Krystalle von *Eisenchlorür* [1]). Die Salzkrusten von dem Ausbruch von 1855 enthielten *Chlormagnesium* [2]), und auch ich habe Chlor und Talkerde in den löslichen Salzen, welche die Octaëder begleiten, oben angegeben. Wo sich Eisenchlorid bildete, konnten sich auch die Chlorüre von Eisen und Magnesium bilden, welche gleichfalls flüchtig sind, und gleichfalls von Wasserdämpfen in der Hitze zersetzt werden.

Meine Untersuchungen lehren, dafs dafs Eisenoxyd, mag es in reinen rhomboëdrischen Krystallen, oder, neben diesen, in Octaëdern auftreten, stets Eisenoxydul oder Talkerde oder beide enthält, und dafs die Eigenschaft, vom Magnet angezogen zu werden, mit der Menge dieser Monoxyde zunimmt, und auch dann noch stark hervortritt, wenn fast kein Eisenoxydul, sondern nur Talkerde zugegen ist. Wäre es möglich, die octaëdrischen Krystalle frei von wirklichem Eisenglanz zu untersuchen, so würde leicht zu finden seyn, ob sie der Spinellgruppe $\dot{R}\,\ddot{R}$ angehören. Meine Analysen der mit dem Magnet ausgezogenen Krystalle stimmen zwar sehr gut mit der Annahme überein, dafs 3 At. der Verbindung $\dot{Mg}\,\ddot{Fe}$ mit 1 At. Eisenoxyd gemengt sey, insofern ein solches Gemisch enthalten müfste:

1) Roth, der Vesuv S. 313.
2) Ebendas. S. 318.

1 At. Eisenoxyd	= 1000	= 21,55 (beigemengt)	}	84,21.
3 » »	= 3009	= 63,16		
3 » »	= 750	= 15,79		
		100.		

Allein ein strenger Beweis verlangt, dafs die Verbindung $\dot{Mg}\,\dddot{Fe}$ für sich nachgewiesen werde.

Wird auch in den Krystallen aus dem Fosso di Cancherone die Verbindung $\dot{R}\,\dddot{R}$ vorausgesetzt, so würden nur 24 Proc. derselben, mit 76 Proc. freiem Eisenoxyd gemengt, darin vorhanden seyn.

Es können, meines Erachtens, zwei Ansichten in Betreff dieser Krystalle aufgestellt werden. Nach der einen ist die Octaëderform begründet durch die Verbindung $\dot{R}\,\dddot{Fe}$, welche sich neben dem reinen Eisenoxyd aus den Dämpfen der Fumarolen gebildet, und sich, so weit sie aus $\dot{Fe}\,\dddot{Fe}$ bestand, nachher durch Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffs in der Hitze auf das Eisenoxydul, ganz oder theilweise in Eisenoxyd verwandelt hat, wodurch sich erklären würde, weshalb die älteren Octaëder aus dem Fosso di Cancherone äufserlich ihre Schärfe verloren haben, und so viel freies Eisenoxyd enthalten.

Allein ich theile diese Ansicht nicht. Auch wenn das Eisenoxyd in Rhomboëdern krystallisirt vorkommt, enhält es nach meinen Versuchen stets Eisen*oxydul* und Talkerde; auch die reinsten Krystalle sind davon nicht frei, ja die am meisten magnetischen Theile der vesuvischen Eisenglanzrhomboëder müssen eine bedeutende Menge Eisenoxydul enthalten, wie ich oben (S. 531) gezeigt habe. Die Gegenwart beider Monoxyde und der durch sie bedingte Magnetismus ist schwerlich in einer Beimengung von $\dot{Fe}\,\dddot{Fe}$ oder von $\dot{Mg}\,\dddot{Fe}$ zu suchen, noch ist vorauszusetzen, dafs das rhomboëdrische Eisenoxyd aus einer Umwandlung von ursprünglich gebildetem $\dot{Fe}\,\dddot{Fe}$ hervorgegangen sey. Deshalb erkläre ich mich für die, schon von v o n K o b e l l und S c a c c h i vermuthete Dimorphie des Eisenoxyds, und für

seine Isomorphie mit den Monoxyden, und glaube, dafs diese Isodimorphie überhaupt für die Monoxyde und Sesquioxyde angenommen werden müsse. Diefs war aber auch die Folgerung, zu welcher die Untersuchungen der Augite und Hornblenden, in welchen Eisenoxyd vorkommt, mich geführt hatten [1]), und ich erblicke in dem regulär krystallisirten Eisenoxyd eine neue Stütze für diese Ansicht.

Man könnte glauben, dafs auch in Titaneisen eine directe Isomorphie der Talkerde mit dem Eisenoxyde stattfinde. Wenn aber das krystallisirte T. von Layton als $\dot{Mg}^3$ ($\ddot{Fe} + \ddot{Ti}^2$) im Sinne H. Rose's gedacht wird, so findet diefs zwar in den Resultaten an sich kein Hindernifs, allein dann mufste in der chlorwasserstoffsauren Auflösung die Hälfte des Titans als Oxyd vorhanden seyn, und diese Hälfte hätte durch die Chamäleonprobe gefunden werden müssen. Letztere gab aber nur so viel Eisenoxydul, als dem gefundenen Eisengehalt entsprach.

Die Hauptresultate vorstehender Arbeit sind folgende:

1) Die grofse Mehrzahl der Titaneisen, darunter alle krystallisirte, giebt bei der Analyse gegen 1 At. Titansäure 1 At. Eisenoxydul (Manganoxydul, Talkerde).
2) In allen Titaneisen ist Talkerde ein wesentlicher Bestandtheil. In dem krystallisirten von Layton beträgt sie 14 Proc.
3) Nach der Theorie Mosanders sind die Titaneisen entweder titansaures Eisenoxydul, $\dot{Fe}\,\ddot{Ti}$, mit isomorpher Beimischung von titansaurer Talkerde (Gastein, Layton), für sich oder mit Eisenoxyd, beide meist nach einfachen Verhältnissen.
4) Die Theorie H. Rose's, die Titaneisen bestehen aus den isomorphen Sesquioxyden des Eisens und Titans, würde die Annahme eines Magnesiumsesquioxyds nöthig machen.

1) Diese Ann. Bd 103, S. 310.

5) Ich gebe Mosander's Theorie bis auf Weiteres den Vorzug.

6) Unter dem Iserin finden sich Körner, aus $\dot{F}e\,\ddot{T}i$ und $\ddot{F}e\,\ddot{T}i^3$ bestehend [1]).

7) Titaneisen in regulären Octaëdern ist nicht bekannt. Die derben Massen oder die zum Theil octaëdrischen Körner, welche Titan enthalten, scheinen Gemenge zu seyn.

8) Die krystallisirten Magneteisen enthalten kein Titan; sie bestehen aus 1 At. Oxydul und 1 At. Oxyd.

9) Nicht jeder Eisenglanz von Elba enthält Titan. Jeder aber, so wie auch der vom Vesuv, enthält Talkerde und Eisenoxydul.

10) Die bisher für Eisenglanz gehaltenen stark magnetischen Octaëder vom Vesuv, welche von rhomboëdrischem Eisenglanz begleitet sind, enthalten theils grofse Mengen Talkerde, theils Eisenoxydul. Sie bestehen entweder aus Magneteisen, welches sich später theilweise in Eisenoxyd verwandelt hat, so wie aus der isomorphen Verbindung $\dot{M}g\,\ddot{F}e$, oder, was wahrscheinlicher ist, die beiden Monoxyde sind isomorph mit dem Eisenoxyd, welches selbst dimorph ist.

1) Ich bin mit weiteren Untersuchungen der Iserine beschäftigt.

II. *Ueber directe und indirecte Zersetzung durch den galvanischen Strom; von G. Magnus.*

Diese Abhandlung bildet die Fortsetzung der im Bd. CII, S. 1 dieser Annalen enthaltenen *Elektrolytischen Untersuchungen*, die Nummern der Paragraphen schliefsen sich deshalb an jene an.

---

§. 95.

Die Ausscheidung von Metall bei Zersetzung eines in Wasser gelösten Salzes wird von Vielen als eine secundäre Erscheinung betrachtet, indem nach ihrer Annahme der Strom das Wasser zersetzt, und der Wasserstoff im Entstehungsmomente das Metall aus seiner Lösung reducirt. Andere sehen in der Ausscheidung des Metalls eine directe Zersetzung des Salzes, und wieder Andere sind der Ansicht, dafs das ausgeschiedene Metall theils aus der directen, theils aus der indirecten Zersetzung hervorgegangen sey. Gewifs wäre es wünschenswerth zwischen diesen Ansichten entscheiden, und solche Thatsachen auffinden zu können, die entweder die eine oder die andere Ansicht als richtig darthun, doch ist diefs kaum zu erwarten. Denn unter gewissen Voraussetzungen lassen sich alle elektrolytischen Ausscheidungen sowohl nach der einen wie nach der anderen Ansicht erklären. In wie weit jene Voraussetzungen aber begründet sind, das ist eine Frage, die nicht unwichtig ist, und deren Beantwortung ich deshalb in dem Folgenden versuchen will.

§. 96.

Hierzu ist zunächst nothwendig den Begriff der secundären Zersetzung etwas näher festzustellen. Dafs der Strom Zersetzungen hervorbringt, die ganz anderer Art sind als die, welche man auf chemischem Wege zu erhalten vermag, ist bekannt. Abgesehen von der Auflösung, welche die positive Elektrode erfährt, wird auch die negative auf eigenthümliche Art verändert. Wendet man als negative

Elektrode eine oxydirte Metallplatte, z. B. eine oxydirte Kupferplatte in reinem Wasser an, so wird sie reducirt, obgleich der Wasserstoff bei gewöhnlicher Temperatur das Kupferoxyd nicht zu reduciren vermag. Wird diese Veränderung durch den Strom selbst hervorgebracht, so kann man sie nicht als secundäre bezeichnen. Eine secundäre Wirkung kann nur eine solche genannt werden, die nicht durch den Strom selbst, sondern durch die mittelst desselben abgeschiedenen Stoffe bewirkt wird. So könnte man z. B. annehmen, dafs die Auflösung der positiven Elektrode durch das an derselben ausgeschiedene und in der Flüssigkeit enthaltene Ozon bewirkt werde, ohne dafs der Strom dabei mitwirkt. Dann wäre diese Auflösung eine secundäre. Ebenso sind die Wirkungen, welche dieser Stoff auf einen Bestandtheil des Elektrolyten ausübt, secundärer Art. In ähnlicher Weise kann man nur diejenigen Wirkungen an der negativen Elektrode als secundär bezeichnen, welche durch eine dort mittelst des Stroms ausgeschiedene Substanz z. B. den Wasserstoff auf die Elektrode selbst oder auf einen Bestandtheil des Elektrolyten ausgeübt werden.

§. 97.

Die Reduction der oxydirten Kupferplatte, die als negative Elektrode dient, ist ohne Zweifel eine primäre, hervorgebracht dadurch, dafs der Strom die Platte so stark negativ macht, dafs sie sich mit dem Wasserstoff des an ihr zersetzten Wassers verbindet.

Liegt ein Theilchen schwefelsaures Kupferoxyd so zwischen zwei Wassertheilchen, dafs der Strom alle drei hintereinander durchläuft und sie alle drei gleichzeitig zersetzt, und es verbindet sich der Sauerstoff des Oxyds mit dem Wasserstoff des einen Wassertheilchens, so ist diese Verbindung so wie die gleichzeitige Reduction des Oxydes eine primäre, denn sie ist durch den Strom selbst hervorgebracht. Wenn dagegen das Salztheilchen so neben den Wassertheilen liegt, dafs der Strom nur durch diese letzteren, nicht aber durch das Salz selbst geht, und es würde dann das Salz durch den Wasserstoff, welcher aus dem die negative

Elektrode berührenden Wassertheilchen frei wird, zersetzt, so wäre dieſs eine secundäre Zersetzung.

Nimmt man daher an, daſs der Strom der durch eine Auflösung von schwefelsaurem Kupfer hindurchgeht, in der die Elektrode berührenden Schicht gleichzeitig sowohl das Salz als auch das Wasser zersetzt, daſs aber kein Wasserstoff frei werde weil dasselbe dazu dient, noch eine andere Quantität von Salz, die sich in der Nähe befindet, zu reduciren, so ist diese Reduction eine secundäre. Denn sie wird nicht von dem Strome selbst, sondern von dem durch diesen ausgeschiedenen Wasserstoff hervorgebracht.

§. 98.

Um die Frage zu beantworten, ob die Ausscheidung von Metall an der negativen Elektrode eine secundäre sey, ist zunächst zu untersuchen, in wie weit der durch den Strom erzeugte Wasserstoff im Stande sey dasselbe aus seinen Lösungen zu reduciren. Hr. Osann hat schon vor längerer Zeit mitgetheilt [1]), daſs er gefunden habe, daſs Wasserstoff, welcher an einer Platinelektrode durch Zersetzung von Wasser, welches reine destillirte Schwefelsäure enthielt, mittelst des galvanischen Stroms erhalten worden, Silbersalze und namentlich schwefelsaures Silberoxyd reducire. Gleich nach dieser Bekanntmachung habe ich einen jungen Amerikaner Hrn. Dr. Dean veranlaſst diese Versuche in meinem Laboratorio zu wiederholen, doch hatte Dr. Dean keine Reduction des Silbersalzes auf die von Hrn. Osann beschriebene Weise erhalten können. Vor Kurzem habe ich selbst den Versuch, und zwar mehrere Male wiederholt, aber niemals zeigte sich mir eine Reduction des Silbers. Auch eine Mischung von Eisenchlorid und rothem Blutlaugensalz, welche nach Hrn. Osann ein noch besseres Reagenz für elektrolytischen Wasserstoff seyn soll, als das schwefelsaure Silberoxyd, veränderte sich durch dieses Gas nicht mehr als eine andere Quantität derselben Flüssigkeit, welche sich in einem ähnlichen Glase befand, in welches kein Gas eingeleitet wurde.

1) Pogg. Annal. XCV, 311.

Auch mit platinirtem Platin, das nach Vorschrift des Herrn Osann bereitet war, konnte ich die von demselben angegebenen Erscheinungen nicht erhalten. Denn wenn dasselbe als negative Elektrode benutzt wurde, so reducirte das Wasserstoffgas, das sich entwickelte, die Lösung von schwefelsaurem Silberoxyd nicht, und ebenso fand auch keine Reduction statt, wenn die Elektrode, nachdem sie zum Zersetzen gedient hatte, in diese Lösung gebracht wurde.

§. 99.

Dagegen erzeugte bei Benutzung von Kohle, und zwar von sogenannter Bunsen'scher Kohle, als negative Elektrode, der entwickelte Wasserstoff einen Niederschlag in der Auflösung von schwefelsaurem Silberoxyd. Dieser Niederschlag enthielt indefs Schwefelsilber, entstanden durch Schwefelwasserstoff, welcher dem Wasserstoff bisweilen in solcher Menge beigemischt war, dafs er sich deutlich durch den Geruch wahrnehmen liefs. Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, dafs dieses Gas vom Schwefeleisen herrührte, welches in diesen Kohlen, die aus gepulverten Steinkohlen oder Coaks verfertigt werden, enthalten ist. Selbst wenn solche Kohle sehr lange als negative Elektrode gedient hat, liefert sie immer noch von diesem Gase. Ich habe mittelst einer negativen Elektrode aus solcher Kohle [1]) Wasser, das mit etwas Schwefelsäure versetzt war, durch einen Strom von drei Bunsen'schen Elementen, während 12 Mal 24 Stunden zersetzt, indem die Säule, mit Unterbrechung der kurzen Zeit, welche für ihre Erneuerung nothwendig war, fortwährend wirkte. Aber selbst nach dieser langen Zeit fällte das Gas die Silberlösung noch mit schwarzer Farbe.

Wendet man eine solche Kohle als positive Elektrode an, so wird sie oxydirt. Es bildet sich eine braune schmierige Masse aus ihr, und sie zerfällt zu Pulver.

§. 100.

Legt man die Kohle, welche als negative Elektrode gedient hat, in eine Auflösung von schwefelsaurem Silberoyd,

1) Die Kohle war aus der Fabrik von Keiser und Schmidt hierselbst.

so wird Silber reducirt, ganz so, wie es Herr Osann angegeben hat. Diese Reduction geschieht aber nicht durch den in der Kohle enthaltenen Wasserstoff, sondern durch das Eisen, das sehr reichlich [1]) in dieser Kohle enthalten und aufserordentlich schwer aus derselben zu entfernen ist.

§. 101.

Kocht man solche Bunsen'sche Kohle wiederholt mit Chlorwasserstoff oder Salpetersäure, oder auch mit einem Gemisch aus beiden, so bleibt selbst nach 10 bis 12 Mal wiederholtem Kochen mit erneuter Säure noch Eisen zurück, und wenn man diese so ausgekochte Kohle als negative Elektrode anwendet, so liefert sie noch Schwefelwasserstoff.

§. 102.

Kohle, die frei von Eisen ist, wie Holzkohle, Kohle die aus reinem Candis-Zucker bereitet ist, reducirt die Silberlösung nicht, auch wenn sie als negative Elektrode benutzt worden ist. Es darf indefs nicht unerwähnt bleiben, dafs es mir nicht gelungen ist, eine von Eisen freie Kohle darzustellen, die den galvanischen Strom von 6 Bunsen'schen Elementen zu leiten vermochte. Da zu vermuthen war, dafs die Kohle nicht dicht genug war, um zu leiten, so wurde, um sie dichter und doch eisenfrei zu erhalten, eine Quantität reinen weifsen Candis-Zuckers in einem Platintiegel verkohlt, die Kohle fein gepulvert und in den Tiegel zurückgebracht. Darauf wurde etwas Zucker zugefügt, der bei erneuter Erwärmung schmolz, sich zwischen der bereits verkohlten Masse verbreitete und bei verstärkter Hitze ebenfalls verkohlte. Durch Wiederholung dieses Verfahrens wurde die Kohle immer dichter, allein es gelang nicht, sie leitend zu erhalten. Wurden solche von Eisen freie Kohlen an einem Platindraht befestigt und als negative Elektrode benutzt, so zog sich die verdünnte Schwefelsäure, die als Elektrolyt diente, capillarisch in ihnen in die Höhe, und es entwickelte sich Wasserstoff an dem benetzten Draht.

1) Nach einer Untersuchung, welche Herr Rüdorff in meinem Laboratorium vorgenommen, enthält die angewandte Kohle 3,5 bis 3,8 Proc. Eisen.

Allein wenn nachher die Kohle in eine Auflösung von schwefelsaurem Silberoxyd gebracht wurde, so reducirte sie kein Metall, selbst nicht an der Stelle, wo sie mit dem Platindraht in Berührung gewesen.

§. 103.

Es unterliegt hiernach keinem Zweifel, dafs die Silberlösung nur von Kohle reducirt wird, welche Eisen enthält. Auch liefs sich jedesmal, wenn durch Kohle eine Reduction stattgefunden hatte, Eisen in der Lösung mittelst Schwefelcyankalium nachweisen.

§. 104.

Damit übrigens die Bunsen'sche Kohle die Silberauflösung reducirt, braucht sie nicht als negative Elektrode gedient zu haben. Glüht man nämlich ein Stück derselben in einem Strome von Wasserstoff, der mittelst Zink bereitet und durch Chlorkalcium getrocknet ist, und läfst es in diesem Strome erkalten, so reducirt diefs ebenfalls.

§. 105.

Dieser Versuch könnte auf den Gedanken führen, dafs die elektrolytische Erzeugung des Wasserstoffs für die Reduction nicht erforderlich sey, dafs vielmehr jeder Wasserstoff im Stande sey zu reduciren, wenn er in einem verdichteten Zustand, in dem er sich offenbar in den Poren der Kohle befindet, mit der Silberlösung in Berührung kommt. Glüht man aber Holzkohle oder andere poröse Substanzen, z. B. gebrannten Thon in einem Strome von Wasserstoff, so reduciren diese die Silberlösung nicht, und doch stehen sie der Bunsen'schen Kohle in Bezug auf ihre poröse Beschaffenheit nicht nach.

§. 106.

Um bestimmter nachzuweisen, dafs der Wasserstoff nicht durch eine Verdichtung wirke, wurde folgender Versuch angestellt. Zwei Stücke Bunsen'scher Kohle wurden in eine, an dem einen Ende zugeschmolzene Glasröhre gebracht, die mit einer guten Luftpumpe in Verbindung stand. Nachdem die Luft ausgepumpt worden, wurde aus einem Gasometer Wasserstoff in die Röhre gelassen. Darauf wurde wieder

leer gepumpt und neuer Wasserstoff zugelassen, und diese Operation 14 bis 16 Mal wiederholt. Damit die atmosphärische Luft, sowie die Feuchtigkeit leichter aus den Poren der Kohle entweichen und durch Wasserstoff ersetzt werden können, wurde die Röhre während des Auspumpens in einem Wasserbade auf der Temperatur von 100° erhalten. Schliefslich wurde das Wasserbad entfernt, die Kohle aber blieb im Wasserstoff, um darin zu erkalten. Als darauf das eine Stück herausgenommen, und in eine Auflösung von schwefelsaurem Silberoxyd gebracht wurde, reducirte es nicht mehr als diese Kohle auch ohne alle Behandlung mit Wasserstoff reducirte. Das andere Stück, das in der Röhre geblieben war, wurde in derselben bis zum Weichwerden des Glases erhitzt, während der Wasserstoff noch mehrere Male ausgepumpt und durch anderen ersetzt wurde. Als diefs Stück, nachdem es in Wasserstoff erkaltet war, in die Silberlösung gebracht wurde, schlug sich das Metall reichlich auf demselben nieder, fast wie auf einer Kohle, die als negative Elektrode gedient hatte. Es geht hieraus hervor, dafs nicht die Verdichtung des Wasserstoffs die Reduction hervorbringt, sondern dafs dieses Gas in höherer Temperatur auf die Kohle eingewirkt haben mufs, um sie so zu verändern, dafs sie reducirt.

§. 107.

Nach Bunsen's Angabe[1]) wird die nach ihm benannte Kohle durch Glühen eines Gemenges von Steinkohlen und Coaks dargestellt. In neuerer Zeit soll sie aus Coakpulver und Steinkohlentheer erhalten werden. Eisen wird, so viel ich weifs, niemals zugesetzt. Dasselbe kommt nur durch die Steinkohlen hinein, die es als Schwefelkies enthalten. Dieser verwandelt sich bei der für die Darstellung der Kohle oder des Coaks angewandten hohen Temperatur, theils in die niedere Schwefelstufe des Eisens, theils in schwefelsaures Eisen.

§. 108.

Die niedere Schwefelstufe des Eisens reducirt die Sil-

1) Liebig und Wöhler's Annal. d. Chem. und Pharm. XXXIX, 311.

berlösung. Bringt man nämlich Schwefeleisen, das durch Fällung eines Eisenoxydulsalzes mittelst Schwefelammonium erzeugt ist, noch feucht und bevor es sich an der Luft oxydirt hat, in eine Auflösung von schwefelsaurem Silberoxyd, so verwandelt sich das Schwefeleisen in Schwefelsilber, zugleich wird aber auch Silber gefällt, weil das entstandene schwefelsaure Eisenoxydul das Silber reducirt. Ebenso verhält sich Schwefeleisen, das durch Zusammenschmelzen von Schwefel und Eisen erhalten ist.

Da die Kohle, so wie sie im Handel vorkommt, die Silberlösung nur wenig oder gar nicht reducirt, so kann sie nur sehr wenig von der niederen Schwefelstufe des Eisens enthalten.

§. 109.

Erhitzt man die Kohle in einem Strom von atmosphärischer Luft, so entweicht schweflichte Säure, die Kohle aber reducirt nachher nicht. Wird sie in einem Strome von Kohlensäure erhitzt, so entweicht Schwefel, aber sie reducirt, nachdem sie in dem Strome dieses Gases erkaltet ist, auch nur sehr wenig. Leitet man so lange Kohlensäure über die Kohle, bis kein Schwefel mehr entweicht, läfst sie dann in Kohlensäure erkalten, und leitet darauf Wasserstoff mit der Vorsicht darüber, dafs keine Feuchtigkeit zutritt, so zeigt sich, wenn man mit dem Erhitzen beginnt, nachdem alle Kohlensäure verdrängt ist, dennoch Wasser, zugleich aber auch eine neue Quantität Schwefel. Das Wasser entsteht offenbar durch Reduction des Eisenoxyds oder des basisch schwefelsauren Eisenoxyds, welches bei der Darstellung der Kohle aus dem Schwefelkies entstanden ist. Die so erhaltene Kohle reducirt eine Auflösung des schwefelsauren Silberoxyds.

Die reducirenden Eigenschaften solcher in Wasserstoff erhitzten Kohle beruhen daher auf der Gegenwart von metallischem Eisen.

§. 110.

Aehnlich verhält es sich mit der Kohle, welche als negative Elektrode gedient hat. Auch in dieser wird das vor-

handene Eisenoxyd reducirt. Zugleich aber wird auch der Schwefelkies zersetzt.

§. 111.

Wendet man nämlich Schwefelkies als negative Elektrode an, so wird er zersetzt, die elektrolytische Flüssigkeit mag sauer oder alkalisch sein, oder aus reinem Wasser bestehen. Ist sie sauer, so entwickelt sich Schwefelwasserstoff an der negativen Elektrode, und zwar viel mehr, als wenn sie aus reinem Wasser besteht oder alkalisch ist. Wahrscheinlich bewirkt der Strom zunächst die Vereinigung des einen Aequivalents Schwefel mit dem Wasserstoff, und dann zersetzt die Säure die übriggebliebene niedere Schwefelstufe Fe S. Ist die Flüssigkeit alkalisch, so entwickelt sich kein Schwefelwasserstoff, weil der Schwefel sich mit dem Metall des Alkali verbindet.

§. 112.

Dieſs Verhalten des Schwefelkieses erinnert an das, welches ich von dem Schwefel bereits in Bd. XVII, S. 521 dieser Annalen beschrieben habe. Ueberzieht man nämlich eine negative Elektrode mit Schwefel, indem man ein Blech oder einen Draht aus Platin in schmelzenden Schwefel taucht, und zersetzt damit reines Wasser, so sieht man nach kurzer Zeit Schwefel als ganz zartes Pulver sich ausscheiden, zugleich bemerkt man den Geruch nach Schwefelwasserstoff. Der ausgeschiedene Schwefel entsteht, wie ich schon damals angegeben habe, durch Oxydation des in der Flüssigkeit gelösten Schwefelwasserstoff.

Aehnlich wie Schwefel verhalten sich Selen und Tellur. Ersteres bildet einen rothen, letzteres einen schwarzen Absatz.

§. 113.

Ich habe mich vielfach bemüht festzustellen, ob der Schwefel selbst die Elektrode bildet. Sollte dieſs der Fall seyn, so müſste er den Strom leiten können. In dickeren Schichten thut er dieſs gewiſs nicht, denn überzieht man eine Platinplatte mit Schwefel, so daſs sie überall mit einer ein Millim. dicken Schicht umgeben ist, so findet bei Anwendung von 6 Bunsen'schen Elementen keine Leitung

statt. Macht man dann den Schwefel durch Abschaben mittelst eines Messers allmählich dünner, so entsteht der Strom, und bald sieht man, dafs die Flüssigkeit durch ausgeschiedenen Schwefel milchig wird. Es ist indefs nicht möglich, zu entscheiden, ob dann nicht feine Sprünge oder Risse in dem Schwefel entstanden sind, die sich mit Flüssigkeit gefüllt und dadurch die Leitung vermittelt haben. Es ist deshalb auf directem Wege kaum festzustellen, ob der Schwefel als Elektrode wirkt. Das Selen bildet den erwähnten rothen Absatz sehr viel leichter als der Schwefel, und noch leichter entsteht beim Tellur der dunkle fein vertheilte Absatz, den man früher für Tellurwasserstoff gehalten hatte. Von diesem letzteren Körper ist es bekannt, dafs er die Elektricität leitet. Es braucht deshalb auch der Platindraht, durch welchen er mit der Säule in Verbindung steht, nicht in das Wasser einzutauchen. Diefs scheint aber bei Selen und Schwefel unerläfslich, und man könnte daraus folgern, dafs nicht diese Körper, sondern der Platindraht die Elektrode sey, und dafs die Verbindung des Schwefels mit Wasserstoff, aus welcher jener Schwefelabsatz entsteht, auf sekundärem Wege erzeugt sey. Allein wenn die Berührung des Schwefels oder des Selens mit dem Platindraht innerhalb des Wassers nicht ganz innig ist, so bildet sich der Schwefelabsatz nicht. Es scheint deshalb nöthig anzunehmen, dafs Selen und Schwefel als Elektroden wirken, woraus dann freilich folgen würde, dafs sie, wenn auch nur in sehr dünnen Schichten, leitend sind.

§. 114.

Von dem Selen hat Hr. Hittorf[1]) nachgewiesen, dafs die krystallinische Modification den galvanischen Strom leitet, und diefs ist von Andern, und auch von mir, vollkommen bestätigt gefunden. Es ist daher wohl wahrscheinlich, dafs auch in dem auf gewöhnliche Weise geschmolzenen Selen stets ein, wenn auch noch so kleiner Antheil krystallinisch, und daher auch leitend ist.

1) Pogg. Annal. LXXXIV. 219.

§. 115.

Jedenfalls geht aus den §. 99 bis §. 103 angeführten Versuchen hervor, dafs der durch den Strom erzeugte Wasserstoff nicht im Stande ist die Silberlösung zu reduciren.

Will man dennoch annehmen, dafs Kupfer und Silber nicht direkt, sondern indirekt, d. i. durch den elektrolytischen Wasserstoff reducirt werden, so mufs man diesem Eigenschaften beilegen, die nicht nachzuweisen sind. Dazu wird man sich aber gewifs nur entschliefsen, wenn wichtige Gründe zu solcher Annahme nöthigen. Fragt man welches die Gründe sind, welche diese ziemlich allgemein verbreitete Annahme veranlafst haben, so steht folgender oben an.

§. 116.

Es wird von Vielen behauptet dafs der elektrische Strom, welcher durch eine Salzauflösung oder irgend einen zusammengesetzten Elektrolyten hindurch geht, sich zwischen den verschiedenen zersetzbaren Bestandtheilen theilt, und zwar nach Verhältnifs ihrer Leitungsfähigkeit, und dafs in Folge hiervon jeder dieser Bestandtheile eine Zersetzung erfährt, die der Intensität des durch ihn hindurchgehenden Stromes entspricht. Bei der Elektrolyse einer Salzlösung müfste daher sowohl das Salz als auch das Lösungsmittel, das Wasser, zersetzt werden, und es müfste stets nicht nur Metall, sondern auch Wasserstoff an der negativen Elektrode ausgeschieden werden. Da nun aber bei gewissen Stromdichten nur Metall ohne Wasserstoff beobachtet wird, so nimmt man an, dafs deshalb kein Wasserstoff frei wird, weil derselbe dazu dient das Metall zu reduciren [1]).

§. 117.

Eine Vertheilung des Stromes zwischen den einzelnen elektrolytischen Bestandtheilen würde gewifs stattfinden müssen, wenn diese Bestandtheile nebeneinander lägen, ähnlich wie verschiedene Drähte, die gleichzeitig zur Leitung benutzt

1) Hr. Hittorf ist anderer Ansicht. Derselbe meint, dafs die Menge von Wasserstoff, die sich entwickelt, so klein sey, dafs sie *wegen der verhältnifsmäfsig geringen Genauigkeit unsrer chemischen Mittel verschwindet.* Pogg. Annal. Bd. CIII, S. 13.

werden, nebeneinander liegen. Aber Niemand wird sich vorstellen können, dafs in einer Salzlösung die Salztheile einzelne Reihen bilden, durch welche die Elektricität wie durch einen Draht hindurch geht, und dafs ebenso das Wasser solche Reihen bildet. Man wird also wohl zugeben müssen, dafs die Salztheile so in der Flüssigkeit vertheilt sind, dafs auf jeder Linie, die man von einer Elektrode zur andern zieht, sowohl Salz als auch Wassertheile hintereinander abwechselnd angetroffen werden, und dafs deshalb der Strom nicht wie durch parallel nebeneinanderliegende Drähte **durch das Salz und durch das Wasser hindurch geht, sondern wie durch Stückchen von verschiedenen Drähten, welche abwechselnd hinter einander angebracht sind.**

§. 118.

Die Annahme, dafs der Strom sich zwischen dem Salze und dem Lösungsmittel theilt, setzt aufserdem voraus, dafs die Theile des Salzes sich in der Lösung unmittelbar berühren. Denn nur in diesem Falle kann die Elektricität von einem Salztheilchen zum andern gelangen, ohne auch durch Wassertheile hindurchzugehen und nur in diesem Falle ist eine Theilung des Stromes nach Verhältnifs der Leitungsfähigkeit dieser Substanzen denkbar. Es mufs einem Jeden überlassen bleiben, ob er sich vorzustellen vermag, dafs die Salztheile stets in unmittelbarer Berührung bleiben, auch wenn man der Lösung immer neue Quantitäten von Wasser hinzufügt. Ich mufs gestehen, dafs ich nicht im Stande bin, mir diefs vorzustellen. §. 69.

§. 119.

Für Diejenigen, welche eine Vertheilung des Stromes und eine dieser Vertheilung entsprechende Zersetzung der verschiedenen Bestandtheile nicht voraussetzen, braucht auch das Metall nicht theilweis auf direktem, theilweis auf indirektem Wege entstanden zu seyn. Es bleibt dann noch übrig anzunehmen, dafs dasselbe nur auf indirektem Wege d. h. nur durch Reduktion mittelst des elektrolytischen Wasserstoffs entstanden sey. Wäre diefs der Fall, so würde nur der Antheil des Salzes reducirt werden, der sich an

der Elektrode befindet. Es ist dann aber nicht einzusehen, wie immer neue Mengen von Salz zur Elektrode kommen, da das Salz, wenn es in der Mitte der Flüssigkeit nicht zersetzt wird, nur durch Diffusion aus dem Innern zur Elektrode gelangen könnte. Da ferner die Bestandtheile des Salzes aus grofser Entfernung, oft durch mehrere Gefäfse hindurch, und mit überraschender Schnelligkeit zu den Elektroden gelangen, so ist man anzunehmen genöthigt, dafs das Salz auch in der Mitte des Elektrolyten zersetzt werde.

§. 120.

Die Möglichkeit einer direkten Zersetzung des Salzes kann wohl Niemand bezweifeln. Zersetzt man geschmolzenes salpetersaures Silberoxyd, das bekanntlich wasserfrei ist, durch den galvanischen Strom, so erhält man metallisches Silber an der negativen Elektrode, und an der positiven scheidet sich salpetrige Säure und Sauerstoff ab, da die Salpetersäure, die bei dieser Temperatur nicht wasserfrei existiren kann, in diese ihre Bestandtheile zerfällt. Aehnlich verhält sich das schwefelsaure Silberoxyd.

§. 121.

Wollte man dessenungeachtet annehmen, dafs die Ausscheidung von Metall aus den wässerigen Lösungen nicht direkt, sondern nur durch den elektrolytischen Wasserstoff geschehe, so folgte aus dieser Annahme, dafs das Wasser leichter durch den Strom zersetzbar sey, als das Salz. Wenn aber dabei dem Wasserstoff die Eigenschaft beigelegt wird, das Metall aus seiner Verbindung mit Sauerstoff zu reduciren, also eine gröfsere Verwandtschaft zum Sauerstoff zu besitzen, als das Kupfer im schwefelsauren Kupferoxyd zu demselben hat, so liegt darin ein eigenthümlicher Widerspruch.

§. 122.

Ein ähnlicher Widerspruch liegt darin, dafs die Zersetzung der Jodsäure durch den Strom, die ich in §. 73 beschrieben habe, keine direkte seyn soll. Es mag im ersten Augenblick auffallend erscheinen, dafs ein so sehr elektronegativer Kör-

per, wie das Jod, sich an der negativen Elektrode abscheidet. Aber es bestätigt diefs doch nur die längst bekannte Thatsache, dafs selbst ein sehr negativer Körper relativ zu einem noch mehr elektronegativen sich als positiv verhalten kann. Die Annahme aber, dafs die Jodsäure nur indirekt zersetzt werde, setzt voraus, dafs Wasser leichter zersetzbar sey, als die Säure, und dafs dennoch die Verwandtschaft des Wasserstoffs zum Sauerstoff die Ausscheidung des Jod's bewirke.

§. 123.

Zu einer, einen solchen Widerspruch enthaltenden Annahme kann man sich nur entschliefsen, wenn unabweisbare Gründe vorhanden sind, welche die einfache direkte Zersetzung dieser Substanzen aufzugeben nöthigen. Diese liegen ohne Zweifel in der Vorstellung, welche sich diejenigen, die einer direkten Zersetzung der Salze entgegen sind, von dem Vorgange der Elektrolyse gemacht haben. Ich will deshalb versuchen, die meinige, welche zu einer solchen Annahme nicht nöthigt, noch ein Mal, in etwas anderer Form als in §§. 69 und 70 auseinanderzusetzen.

§. 124.

Da man nicht im Stande ist die Bewegungen der Ionen im Innern des Elektrolyten unmittelbar wahrzunehmen, so kann man mit grofer Sicherheit schliefsen, dafs dieselben nicht frei in der Flüssigkeit fortbewegt werden, denn sonst müfsten sie durch irgend eine Reaction wahrzunehmen seyn. Es bleibt deshalb nur übrig anzunehmen, dafs ihre Fortbewegung von Theilchen zu Theilchen stattfindet, und auf abwechselnden Zersetzungen und Wiedervereinigungen beruht, ganz so, wie es die Grotthus'sche Hypothese annimmt. Bei dieser letzteren findet indefs die Schwierigkeit statt, dafs derselbe Strom die Ionen trennt und sie auch wiederum vereinigt. Nimmt man aber an, dafs die Wirkung des Stromes nicht continuirlich ist, sondern aus unendlich vielen, in unendlich kurzen Zeiten auf einander folgenden Entladungen besteht, so bringen diese Entladungen nur die Trennungen hervor, und die Wiedervereinigungen

erfolgen durch die chemische Verwandtschaft der getrennten Bestandtheile.

§. 125.

Stellt man sich eine Lösung eines Salzes, z. B. von schwefelsaurem Kupferoxyd vor, die wenig Salz im Verhältnifs zum Wasser enthält, so kann man, wenn diese hinreichend verdünnt ist, nicht annehmen, dafs die Theile des Salzes einander unmittelbar berühren, man mufs vielmehr davon ausgehen, dafs sich zwischen den Theilen des Salzes immer eine gröfsere Anzahl von Wassertheilen befinden. Man kann sich die in einer Linie liegenden Theile einer solchen Lösung etwa so vorstellen, wie es das folgende Schema andeutet

$$\overset{-E}{|}\ HO\ HO\ HO\ CuO{+}SO_3\ HO\ HO\ HO\ CuO{+}SO_3\ \overset{+E}{|}$$

Das Salz ist in demselben als wasserfrei angenommen, sollte in jedem Salztheilchen auch noch Krystallwasser enthalten seyn, so würden sich nur die Formeln für diese Theilchen ändern, im übrigen bliebe aber die Vertheilung des Salzes zwischen dem Wasser ganz ähnlich. Bei solcher Vertheilung ist, wie schon oben §. 118 bemerkt, nicht denkbar, dafs der Strom, oder auch nur ein Theil desselben von Salz zu Salztheilchen mit Uebergehung der Wassertheile fortschreite, und ebensowenig, dafs ein solches Fortschreiten von Wasser zu Wasser mit Uebergehung der Salztheile stattfinde, wie es nöthig wäre, wenn der Strom sich im Verhältnifs der Widerstände zwischen Salz und Wasser theilen sollte; man ist vielmehr genöthigt, anzunehmen, dafs der Strom sowohl von Wasser zu Wasser, als von Wasser zu Salz und von Salz zu Wasser fortschreitet.

§. 126.

Diefs vorausgesetzt ist der Vorgang in einer solchen Reihe z. B. in der, welche jenes Schema vorstellt, folgender: Der Wasserstoff des an der negativen Elektrode befindlichen Wassertheilchens entweicht, der Sauerstoff desselben Theilchens verbindet sich dagegen mit dem Wasserstoff des

neben ihm liegenden Wassers, dessen Sauerstoff wieder mit dem Wasserstoff des folgenden und so fort bis zum nächsten Salztheilchen. Dieſs wird so zersetzt, daſs das Metall, im vorliegenden Falle das Kupfer, mit dem Sauerstoff des vorhergehenden Wassers, der Sauerstoff des Oxyds aber, sowie die Säure mit dem Wasserstoff des folgenden Wassers sich verbinden.

Auf diese Weise gelangt die Säure und der Sauerstoff des Oxyds, indem sie sich abwechselnd mit Wasserstoff oder mit Metall verbinden, bis zur positiven Elektrode, und auf ähnliche Weise gelangt auch das Metall zur negativen Elektrode, indem es sich abwechselnd nur mit Sauerstoff zu Oxyd, oder mit Sauerstoff und Säure zu Salz verbindet.

§. 127.

Ist die Lösung neutral, so müſste das Kupfer sich so lange als Oxyd ohne Säure fortbewegen, bis es mit dem aus einem nächsten Salztheilchen abgeschiedenen Säurehydrat zusammentrifft. Fände die Zersetzung nur in einer einzigen solchen Reihe statt, wie sie das Schema darstellt, so würden bei starker Verdünnung der Lösung mehrere Zersetzungen hintereinander erfolgen müssen bis das Oxyd wieder Säure antrifft, und dann würde dasselbe, da es im Wasser unlöslich ist, sich ausscheiden. Aber die Salztheile bewegen sich nicht immer in derselben Reihe fort. Das Schema stellt die Lage der Theile in einer beliebigen, die Elektroden verbindenden Linie dar. In einer dicht daneben befindlichen liegen die Salztheile nicht an denselben Stellen, sondern gegen jene verschoben, weil sonst ihre Vertheilung in der Flüssigkeit keine gleichmäſsige wäre. Es kann daher begegnen, daſs das Oxyd, bevor es mit dem in derselben Reihe entstandenen Säurehydrat zusammentrifft, sich neben einem Theilchen dieses Hydrates in einer benachbarten Reihe befindet, und dann geht es mit diesem die Verbindung ein. Ist die Lösung sauer, so findet das Oxyd an sehr viel mehr Stellen Säure, um sich damit zu verbinden.

§. 128.

Sollte das Oxyd auch nicht sogleich die Säure treffen, so scheidet es sich doch auch nicht sofort als Niederschlag aus, da, wie bekannt, immer einige Zeit erforderlich ist, bis ein solcher sich bildet, die einzelnen Zersetzungen aber sehr rasch aufeinander folgen, so dafs das Oxyd sehr bald wieder mit Säure zusammentrifft. Nur wenn zwischen Salzlösung und der negativen Elektrode sich eine Schicht reinen Wassers befindet, mufs sich das Oxyd an der Gränze dieser Schicht ansammeln, da die Säure zu seiner Fortführung gänzlich fehlt.

Hr. Faraday hat die Ausscheidung des Oxyds durch einen sehr interessanten Versuch mit schwefelsaurer Magnesia dargethan (Experimental-Untersuchungen Reihe V. §. 494) und Hr. Buff hat in seinen vor Kurzem veröffentlichten Elektrolytischen Studien [1]) dieselbe bei schwefelsaurem Kupferoxyd nachgewiesen.

Enthält die Schicht zwischen der Salzlösung und der negativen Elektrode auch nur eine geringe Menge von Säure, so sondert sich kein Oxyd aus, sondern es wird dann das Metall bis zur Elektrode ebenso fortgeführt, wie wenn das Salz durch die ganze Flüssigkeit verbreitet ist.

§. 129.

Ist das Salz gleichmäfsig in der zwischen den Elektroden enthaltenen Flüssigkeit vertheilt, so liegen neben jeder Elektrode sowohl Salz- als Wassertheile; daher werden auch beide zersetzt, so lange der Strom hinreichend stark ist. Wird aber die Intensität desselben vermindert, so scheidet sich nur Metall aus. Diejenige Stromdichte, bei welcher die Entwickelung von Wasserstoff eben aufhört, habe ich die Gränze in Bezug auf diese Salzlösung genannt, §. 31, weil bei jeder geringeren auch nur Metall und kein Wasserstoff an der negativen Elektrode sich ausscheidet. Wenn aber kein Wasserstoff sich entwickelt, so ist auch kein Grund, anzunehmen, dafs Wasser zersetzt werde. Das Fehlen von Wasserstoff zeigt nur, dafs die Stromgränze

1) Liebig und Wöhler, Ann d. Chem. und Pharm. CV. 145.

eingetreten ist, bei welcher nur die besserleitenden Salztheile zersetzt werden. Es versteht sich indefs von selbst, dafs diese Gränze sich nur auf die Schicht der Flüssigkeit bezieht, welche die Elektrode unmittelbar berührt, nicht aber auf das Innere derselben.

§. 130.

Diese auswählende Eigenschaft des Stroms habe ich verglichen mit der Entladung eines Conduktors durch isolirte Kugeln von verschiedenem Leitungsvermögen §. 55 und ich halte diesen Vergleich noch jetzt für sehr geeignet den Vorgang der Elektrolyse klar zu machen. Mir ist kein geeigneteres Mittel bekannt, sich Rechenschaft zu geben, weshalb bei einer gewissen Intensität des Stroms nur die eine von den die Elektrode berührenden Verbindungen zersetzt werde, die andre aber gar nicht, §. 30, weshalb bei **unveränderter Flüssigkeit und bei constanter Stromstärke** die Gränze dieser Ausscheidung proportional mit der Gröfse der Elektroden wächst, oder, was dasselbe ist, weshalb sie bei derselben Stromdichte beginnt (§. 49); so wie endlich weshalb diese Gränze sich mit der Zusammensetzung der Flüssigkeit in der Weise ändert, dafs sie einer um so gröfseren Stromdichte entspricht, je gröfser die Concentration der Lösung ist. §. 50.

§. 131.

Das Auswählen gewisser Theile beim Uebergange des Stromes ist zwar nur in der Schicht zu beobachten, welche die negative Elektrode berührt, und der Gränzwerth bezieht sich auch nur auf diese, allein es ist wahrscheinlich, dafs auch im Innern des Elektrolyten, beim Uebergange der Elektricität aus einem Querschnitt in den nächsten, von den verschiedenen Theilen, welche in diesem letzteren ein und dasselbe Theilchen des vorhergehenden berühren, das besserleitende zersetzt wird. Ist diefs der Fall, so begreift man, wie es zugeht, dafs die Bestandtheile des besserleitenden Salzes, weil sie vorzugsweise zersetzt werden, auch vorzugsweise in dem Elektrolyten fortbewegt und zu den Elektroden geführt werden.

§. 132.

Auch das specifische Gewicht übt einen bedeutenden Einfluſs auf die Zersetzung. Denn wie bereits in §§. 83 bis 85 nachgewiesen, bildet das an der positiven Elektrode entstehende Salz eine concentrirte Auflösung, welche die unteren Schichten der Flüssigkeit einnimmt, und sich nur langsam mit der verdünnteren Lösung mischt.

§. 133.

Daniell war der Ansicht, daſs Sauerstoff und Säure als eine chemische Verbindung fortgeführt werden. Er sah sich zu derselben genöthigt, weil er eine besondere Schwierigkeit darin fand, daſs durch denselben Strom, durch welchen nur ein Aequivalent Wasserstoff oder Metall zur negativen Elektrode gelangt, ein Aequivalent von Sauerstoff und ein Aequivalent von Säure zur positiven gelangen. Deshalb betrachtete er die Säure und den Sauerstoff als eine *dem Wasserstoff aequivalente Verbindung*. Dieſs ist das eigenthümliche der Daniell'schen Ansicht, denn daſs Säure und Sauerstoff zum positiven Pole gelangen, war schon früher bekannt. Allein aus Daniell's eigenen Versuchen, so wie aus den später von mir angestellten, geht hervor, daſs jene Ansicht nicht die richtige ist. Denn wenn Säure und Sauerstoff eine chemische Verbindung bilden, und als solche zur Elektrode geführt werden, so müssen sie auch bis zu dieser in Verbindung miteinander bleiben, und können erst an derselben zerfallen. Dann würde sich aber ein volles Aequivalent von beiden an dieser Elektrode finden. Man müſste sonst annehmen, daſs ein Theil der an der Elektrode angelangten Säure sich wieder in der übrigen Flüssigkeit verbreitet habe und durch die poröse Scheidewand hindurch zur negativen Elektrode gewandert sey, was mindestens unwahrscheinlich ist.

§. 134.

Man hat wohl behauptet, daſs die Daniell'sche Ansicht eine Stütze in den neueren Theorieen der organischen Chemie finde. Dieſs ist aber keineswegs der Fall. Nach diesen Theorieen kann der Wasserstoff vertreten werden

durch Metall, aber wenn man der Verbindung das Metall oder den Wasserstoff entzieht, so bleibt nicht eine Verbindung von Säure und Sauerstoff zurück, sondern der Rest zerfällt in seine Bestandtheile. Dafs einige Chemiker die Salze, z. B. das schwefelsaure Kupferoxyd $CuSO_4$ schreiben, ist kein Beweis dafür, dafs sie SO_4 als eine chemische Verbindung ansehn. Andere schreiben statt dessen bekanntlich $\left.\begin{matrix}SO_2\\Cu\end{matrix}\right\} O_2$, um anzudeuten, dafs das Salz zum Typus Wasser gehört.

§. 135.

In Bezug auf die Mengen, welche an den Elektroden abgeschieden werden, haben die Versuche gelehrt, dafs der Sauerstoff den Stromintensitäten proportional ist, dafs dagegen an der negativen Elektrode die positiven Bestandtheile stets in solchen Verhältnissen frei werden, wie sie mit einer und derselben Menge Sauerstoff oder deren Aequivalent verbunden, in dem Elektrolyten enthalten sind. Deshalb wird für ein Aequivalent Sauerstoff aus dem Kupferchlorid nur ein Cu, dagegen aus dem Kupferchlorür 2 Cu frei. Ebenso wird aus dem Zinnchlorür ein Sn, dagegen aus dem Zinnchlorid $\frac{1}{2}$ Sn frei, und in gleicher Weise wird aus der Lösung von Jodsäure $\frac{1}{5}$ J frei. Diese Mengen sind daher als positive Bestandtheile elektrolytisch äquivalent, und ebenso sind die Verbindungen, aus denen sie durch ein und denselben Strom erhalten werden, nämlich H + O, Cu + Cl, 2 Cu + Cl, $\frac{1}{2}$ Sn + Cl, Sn + Cl, $\frac{1}{5}$ J + O u. s. f. elektrolytisch aequivalent.

Wird statt der Jodsäure die Jodwasserstoffsäure durch den Strom zersetzt, so scheidet sich das Jod an der positiven Elektrode ab, und dann sind J und O aequivalent.

§. 136.

Dafs das Faraday'sche Gesetz der aequivalenten Zersetzung nicht für die sogenannten Atomgewichte, sondern nur für die im vorhergehenden §. bezeichneten Mengen gelten kann, ist nicht schwer einzusehen. Die Atomgewichte sind nämlich nur in einzelnen Fällen auch die Aequiva-

lente, weil eine Aequivalenz immer nur in Bezug auf die Verwandtschaft zu einem bestimmten Körper stattfinden kann. So sind z. B. die Atomgewichte von Sauerstoff = 8; Schwefel = 16; Jod = 126,3 zugleich auch die Aequivalente dieser Stoffe in Bezug auf ihre Verbindungen mit Wasserstoff, aber nicht in Bezug auf ihre Verbindungen mit Sauerstoff. Es kommt sogar darauf an, welche Verbindungen in Betracht gezogen werden. In der Schwefelsäure und Jodsäure bedarf z. B. ein Sauerstoff $\frac{1}{3}S = \frac{16}{3}$ und $\frac{1}{5}J = \frac{126,3}{5}$; in der schweflichten Säure und der Ueberjodsäure bedarf dasselbe $\frac{1}{2}S = \frac{16}{2}$ und $\frac{1}{7}J = \frac{126,3}{7}$. Ebenso verhält es sich mit den Salzen und ähnlichen Verbindungen. Die Atomgewichte des Eisenoxyduls 2Fe+2O und des Eisenoxyds 2F+3O sind, in Bezug auf ihre Verbindungen mit ein und derselben Menge von Schwefelsäure, nicht aequivalent, sondern in Bezug hierauf sind 2Fe+2O und $\frac{2}{3}$(2Fe+3O) aequivalent. In diesen verhält sich das Eisen wie Fe:$\frac{2}{3}$Fe. Deshalb haben auch Gerhardt und Laurent zwei verschiedene Bezeichnungen für diese Aequivalente eingeführt, und bezeichnen dieselben mit Fe = 28 und *fe* = 18,6; und dem entsprechend würden sie beim Kupfer zwei Aequivalente annehmen Cu = 31,7 und *cu* = 63,4 [1]).

§. 137.

Die gröfste Schwierigkeit haben in Bezug auf die elektrolytische Aequivalenz, seitdem Faraday dieselbe nach-

1) Ich erwähne diese verschiedene Bezeichnung nur um zu zeigen, wie wenig die Atomgewichte für gleich mit den Aequivalenten genommen werden dürfen, nicht aber weil ich die Einführung derselben für zweckmäfsig erachte. Im Gegentheil würde es nach meiner Ansicht besser seyn $\frac{2}{3}$Fe statt *fe*, und 2Cu statt *cu* zu schreiben. Die Formeln würden dadurch kaum complicirter ausfallen, dagegen würden Mifsverständnisse vermieden und aufserdem der Vortheil erreicht werden, dafs man sich von gewissen Umwandlungen z. B. von $\left.\begin{matrix}SO_2\\Fe\end{matrix}\right\}O_2$ in $\left.\begin{matrix}SO_2\\fe\end{matrix}\right\}O_2$ leichter Rechenschaft geben könnte. Man mufs dann freilich zugeben dafs H sowohl durch Fe als durch $\frac{2}{3}$Fe = *fe* vertreten werden kann, was man ebenso, wenn auch vielleicht weniger bewufst, thut, indem man H bald durch Fe bald durch *fe* vertreten läfst.

gewiesen, stets die Sauerstoffsalze gewährt. Diese Schwierigkeit hat ihren Grund hauptsächlich darin, dafs man die Salze nach der bisher üblichen chemischen Ansicht als aus Säure und Basis zusammengesetzt betrachtet. Sie verschwindet, oder wird wenigstens viel geringer, wenn man von der in der organischen Chemie jetzt ziemlich allgemein verbreiteten Substitutionstheorie ausgeht; was man um so mehr zu thun berechtigt ist, da, wie ich glaube nachgewiesen zu haben, die Elektrolyse immer nur auf Substitution beruht. Um zu zeigen, wie sich die elektrolytische Aequivalenz aus der chemischen Substitutionstheorie herleiten läfst, will ich mich der in dieser üblichen Bezeichnungsweise bedienen.

§. 138.

Geht man von dem Typus Wasser $= \left.\begin{matrix}\mathrm{H}\\ \mathrm{H}\end{matrix}\right\} \mathrm{O}_2$ [1]) aus, so erhält man bekanntlich, wenn das eine H durch Metall = M vertreten wird, das Hydrat des Oxyds $\left.\begin{matrix}\mathrm{M}\\ \mathrm{H}\end{matrix}\right\} \mathrm{O}_2$. Wird auch das andere H durch M ersetzt, so entsteht $\left.\begin{matrix}\mathrm{M}\\ \mathrm{M}\end{matrix}\right\} \mathrm{O}_2$, das wasserfreie Oxyd. Wird von den beiden H das eine durch das Radical der Säure ersetzt, so entsteht das Hydrat der Säure z. B. das Hydrat der Schwefelsäure $= \left.\begin{matrix}\mathrm{SO}_2\\ \mathrm{H}\end{matrix}\right\} \mathrm{O}_2$ [2]). Wird auch das andere H durch dasselbe Radical vertreten, so entsteht die wasserfreie Säure $\left.\begin{matrix}\mathrm{SO}_2\\ \mathrm{SO}_2\end{matrix}\right\} \mathrm{O}_2$. Wird ein H durch Metall z. B. durch Kupfer = Cu und das andere durch das Radical der Säure vertreten, so entsteht schwefels. Kupfer-

1) Abweichend von der jetzt allgemein üblichen Bezeichnung habe ich H statt H geschrieben, um mit Rücksicht auf die bei der Elektrolyse sich entwickelnden Gasmengen, jedem Mifsverständnifs so weit als möglich vorzubeugen.

2) Es ist für die Zersetzungen, um die es sich hier handelt, gleichgültig, ob man die Schwefelsäure als einbasisch $\left.\begin{matrix}\mathrm{SO}_2\\ \mathrm{H}\end{matrix}\right\} \mathrm{O}_2$ oder als zweibasisch $\left.\begin{matrix}\mathrm{S}_2\mathrm{O}_4\\ \mathrm{H}_2\end{matrix}\right\} \mathrm{O}_4$ betrachtet. Ich habe die Formel für die einbasische als die einfachere vorgezogen.

oxyd $= \left.\begin{matrix}SO_2\\Cu\end{matrix}\right\} O_2$. Würde das Cu durch $cu = 2Cu$ vertreten, so entstünde schwefelsaures Kupferoxydul $\left.\begin{matrix}SO_2\\cu\end{matrix}\right\} O_2$ $= \left.\begin{matrix}SO_2\\Cu_2\end{matrix}\right\} O_2$.

Ebenso wie die Schwefelsäure gehört auch die Salpetersäure $\left.\begin{matrix}NO_4\\H\end{matrix}\right\} O_2$ zum Typus Wasser; dagegen würde die Phosphorsäure zum Typus $\left.\begin{matrix}H_3\\H_3\end{matrix}\right\} O_6$ gehören, indem H_3 vertreten wird durch PO_2.

§. 139.

In dem folgenden, nach dieser Bezeichnungsweise ausgeführten Schema soll die oberste Reihe die Lage der Theilchen in einer Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd bezeichnen, in der sich dieselben vor der Elektrolyse befinden. Die mit $+E$ und $-E$ bezeichneten Linien bedeuten die Elektroden, von denen vorausgesetzt wird, dafs sie sich nicht mit der Säure zu verbinden vermögen, also etwa aus Platina bestehen. Eine solche Lösung enthält zwar stets mehr als 2 Atome Wasser auf ein Atom Salz, für die folgende Betrachtung ist diefs indefs von keiner Bedeutung, dagegen werden die Veränderungen, welche durch die Elektrolyse entstehn, übersichtlicher, wenn man eine geringere Menge von Wasser annimmt.

Die zweite Reihe des Schema's stellt die Lage der Theile und ihre Zusammensetzung dar, nachdem ein Cu an der negativen und ein O an der positiven Elektrode ausgeschieden ist. In dieser, wie in allen folgenden Reihen sind die ausgeschiedenen Theile aufserhalb der Elektroden geschrieben.

Nachdem wieder ein O ausgeschieden, haben die Theile die Lage der dritten Reihe angenommen. An der positiven Elektrode haben sich SO_3 und HO zu $\left.\begin{matrix}SO_2\\H\end{matrix}\right\} O_2$ vereinigt. Es enthält diese Reihe aber jetzt ein Theilchen weniger, als die erste. Diefs ersetzt sich, indem ein neues Theilchen von der Seite, aus der umgebenden Flüssigkeit in diese

Reihe eintritt. Da die umgebende dieselbe Zusammensetzung hat, wie die ursprünglich in der ersten Reihe angenommene Flüssigkeit, so gelangen Salz und Wasser in demselben Verhältnifs in die Reihe, von der hier die Rede ist, in welchem sie in der Lösung vorhanden sind, also im vorliegenden Falle auf zwei Wasser ein Salz. Zur besseren Uebersicht sind in dem Schema die eingetretenen Theilchen mit einer Zahl oben bezeichnet, welche zugleich die Reihenfolge ihres Eintritts angiebt, und ist angenommen, dafs sie gerade in der Mitte eintreten.

Die vierte, sowie alle folgenden Reihen stellen die jedesmalige Lage der Theilchen dar, nachdem immer ein O ausgeschieden ist.

| | −E | | |

§. 140.

Dieses Schema zeigt, wie die Säure sich allmählich an der positiven Elektrode ansammelt. Es braucht wohl nicht erwähnt zu werden, dafs wenn die älteren chemischen Formeln für das Salz und das Wasser gebraucht werden, das Schema dasselbe Resultat liefert. Enthielte die elektrolytische Flüssigkeit statt $\left.\begin{matrix}SO_2\\H\end{matrix}\right\}O_2$ Chlorwasserstoffsäure $\begin{matrix}Cl\\H\end{matrix}$, so würde der Austausch der Bestandtheile in ganz ähnlicher Weise erfolgen. Zwar gehören Chlorwasserstoff so wie auch die Chlormetalle nicht zum Typus Wasser, sondern zum Typus Wasserstoff, allein zwischen diesen beiden Typen findet der Austausch der Bestandtheile ganz in derselben Weise statt, wie zwischen Verbindungen, die dem einen Typus allein angehören.

Bestände die positive Elektrode aus Kupfer, so würde sich die Säure mit diesem Metall verbinden. Der Vorgang wäre dann etwas anders als ihn das obige Schema darthut, man kann sich denselben aber leicht in ähnlicher Weise herleiten.

§. 141.

Sollte die an der positiven Elektrode freigewordene Säure in der Reihe verbleiben, in der sie ausgeschieden ist, wie dieſs das Schema §. 139 voraussetzt, so würde die Elektrolyse in dieser Reihe aufhören, sobald sich an der Elektrode nur wasserfreie oder ganz concentrirte Säure befindet, weil diese sehr schwer zersetzbar ist. Da die Elektrolyse aber nicht so bald aufhört, so mufs entweder die Säure aus dieser Reihe sich fortbewegen, oder die Zersetzung mufs in einer anderen Reihe erfolgen.

§. 142.

Aus dem Schema §. 139 geht zugleich hervor, dafs wenn die Zersetzung so regelmäfsig erfolgt, wie es dasselbe voraussetzt, weder eine Anhäufung noch eine Veränderung der elektropositiven Bestandtheile an der negativen Elektrode stattfindet, und dafs eine solche auch nicht stattfinden würde, wenn die Theilchen aus der umgebenden Flüssigkeit in der

Nähe einer der Elektroden in die Reihe eintreten sollten. Da sich aber unter gewissen Umständen eine Veränderung an der negativen Elektrode zeigt, so mufs sie einen anderen Grund haben. Dieser ist, wie bereits §. 52 erwähnt, darin zu suchen, dafs der Strom, wenn er nicht ausreicht um sämmtliche Theile, welche die Elektrode berühren, gleichzeitig zu zersetzen, vorzugsweise die zersetzt, welche Metall enthalten, das sind die Salztheile. Durch diese auswählende Zersetzung wird die Zusammensetzung der Flüssigkeit in der Nähe der negativen Elektrode verändert. Dafs die Zersetzung nicht immer in derselben Reihe erfolgt, wenn diese Veränderung eintritt, ist einleuchtend.

§. 143.

Ich kann schliefslich nicht unterlassen, darauf aufmerksam zu machen, dafs die Substitutionstheorie geeignet scheint eine Erscheinung zu erklären, die bis jetzt ganz unerklärt dasteht.

Es ist bekannt, dafs reines Wasser den galvanischen Strom sehr schlecht leitet, dafs aber die Leitungsfähigkeit bedeutend zunimmt durch einen Zusatz einer Säure, z. B. Schwefelsäure, obgleich diese in ihrem wasserfreien Zustande den Strom ebensowenig zu leiten vermag.

Ich habe wasserfreie Schwefelsäure durch einen Strom von acht Bunsen'schen Elementen zu zersetzen versucht, allein es hat mir diefs nicht gelingen wollen, obgleich die Elektroden sich in dem möglichst kleinsten Abstande befanden. Ebenso verhielt sich wasserfreie schweflichte Säure. Auch diese wurde nicht zersetzt, als sie bei einer Temperatur, bei welcher sie unter dem Drucke der Atmosphäre noch nicht kochte, der Einwirkung desselben Stromes ausgesetzt wurde. Durch einen Zusatz von Wasser wurden beide Säuren gut leitend. Eine Mischung von zwei sehr schlechten Leitern ist folglich ein sehr guter Leiter.

§. 144.

Mir scheint, man könnte diese auffallende Erscheinung auf folgende Weise erklären.

Nach der Substitutions-Theorie enthalten die zum Typus

Wasser gehörenden Verbindungen zwei substitutionsfähige Bestandtheile. Diese sind im Wasser $\left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}O_2$, sowie in der wasserfreien Schwefelsäure $\left.\begin{matrix}SO_2\\SO_2\end{matrix}\right\}O_2$, der wasserfreien schweflichten Säure $\left.\begin{matrix}SO\\SO\end{matrix}\right\}O_2$ und den andern wasserfreien Säuren einander gleich. Es geht aber aus andern rein chemischen Erscheinungen hervor, und ist auch von vorn herein sehr wahrscheinlich, dafs diejenigen Verbindungen, die zwei gleiche substitutionsfähige Bestandtheile enthalten, viel schwerer zersetzbar sind, als diejenigen, in welchen diese Bestandtheile verschieden sind, und dafs sie um so leichter zersetzbar sind, je mehr der eine dieser Bestandtheile elektronegativ in Bezug auf den andern ist. Geht man hiervon aus, so ist das Hydrat der Schwefelsäure $\left.\begin{matrix}SO_2\\H\end{matrix}\right\}O_2$ deshalb so leicht zersetzbar, weil SO_2 und H elektrochemisch sehr verschieden sind. Auch erklärt sich weshalb die Salze so leicht, und sogar noch leichter als das Hydrat ihrer Säuren zersetzbar sind, und ebenso weshalb das Wasser und die wasserfreien Säuren sich so schwer zersetzen lassen.

§. 145.

Eine Bestätigung erhält diese Erklärung dadurch, dafs auch der Aether $\left.\begin{matrix}C_2H_5\\C_2H_5\end{matrix}\right\}O_2$ durch den Strom sehr schwer oder gar nicht zersetzbar ist; wogegen der Alkohol $\left.\begin{matrix}C_2H_5\\H\end{matrix}\right\}O_2$ sich bekanntlich sehr viel leichter zersetzen läfst. Aehnlich wie der Aethyläther verhält sich auch Amyläther, auch dieser leitet bei Anwendung eines Stroms von 10 Bunsen'schen Elementen, und einem Abstande der Elektroden von wenigen Millimetern den Strom nicht, wogegen Amylalkohol sich in Bezug auf seine Leitungsfähigkeit ganz ähnlich wie Aethylalkohol verhält.

III. *Ueber Niobfluorid; von Heinr. Rose.*

Das Hydrat der Niobsäure löst sich in wässeriger Fluorwasserstoffsäure leicht auf; die Lösung giebt mit anderen Fluorverbindungen eine Reihe von krystallisirten Doppelsalze, von denen nur einige dargestellt wurden. Die Doppelverbindungen des Niobfluorids mit den alkalischen Fluormetallen haben eine Neigung sich mit sogenannten sauren Fluormetallen (Verbindungen von Fluormetallen mit Fluorwasserstoff) zu vereinigen; eine Neigung, welche ich bei den Tantalfluorid-Verbindungen nicht bemerken konnte.

Niobfluorkalium. — Wird die Lösung der Niobsäure in überschüssiger Fluorwasserstoffsäure mit kohlensaurem Kali versetzt, so entsteht dadurch ein starker voluminöser Niederschlag, der sich aber in dem Grade vermindert, als man die Menge des kohlensauren Kalis vermehrt. Die Flüssigkeit wurde der Neutralisation nahe gebracht. Beim Erwärmen der nur noch schwach sauren Flüssigkeit löste sich alles auf, bis auf einen geringen Rückstand. Die durch einen Silbertrichter filtrirte Flüssigkeit setzte in der Platinschale, nachdem sie einer Temperatur mehrere Grade unter dem Gefrierpunkte (der zufälligen Lufttemperatur) ausgesetzt worden, nach mehreren Stunden eine Krystallrinde ab. Die Mutterlauge wurde dann abgegossen, und die Krystallkruste so lange zwischen Fliefspapier gepreſst, bis dasselbe nicht mehr benetzt wurde.

2,400 Grm. des bei 70° getrockneten Salzes verloren 0,030 Grm. Feuchtigkeit bei 100° C. Darauf bis zu 120° erhitzt, erlitt es keine weitere Gewichtsverminderung.

Das Salz wurde darauf in heifsem Wasser gelöst, wobei ein Rückstand blieb, der aber keine krystallinisch-körnige Beschaffenheit wie das Salz, sondern eine flockige wie Niobsäure hatte. Die Ausscheidung der Säure vermehrte sich durchs Erhitzen; als aber verdünnte Schwefelsäure hinzugefügt wurde, entstand eine vollständig klare Flüssigkeit.

Diese Erscheinung, die mir anfangs auffallend war, rührt daher, dafs die ausgeschiedene Niobsäure sich wiederum in der Fluorwasserstoffsäure löste, welche durch das Zusetzen von Schwefelsäure frei geworden war. Die Flüssigkeit wurde abgedampft, und der Rückstand so lange erhitzt, bis alle überschüssige Schwefelsäure verjagt worden war, darauf mit heifsem Wasser behandelt, und die ungelöste Niobsäure abfiltrirt. Sie wog nach dem Glühen 1,028 Grm. — Die von der Niobsäure getrennte Flüssigkeit hinterliefs nach dem Abdampfen 1,620 Grm. schwefelsaures Kali. Die Zusammensetzung des Salzes ist hiernach im Hundert.

Kalium	30,67
Niob	32,65
Fluor (als Verlust)	36,68
	100,00.

Das Kalium erfordert 14,74 Th. Fluor um Fluorkalium und das Niob 25,18 Th. um NbF^2 zu bilden. Es ist indessen weniger Fluor durch den Verlust gefunden worden. Das Salz enthielt offenbar noch eine geringe Menge von $KF + HF$, die schwer davon zu trennen gewesen wäre. Und in der That zeigten sich geringe Mengen von Wasser, wenn das Salz mit einem Uebermaafs von frisch geglühtem Bleioxyd erhitzt wurde. Bringt man diefs in Anschlag, so ist die Zusammensetzung wesentlich $KF + NbF^2$.

Das Salz röthet stark befeuchtetes Lackmuspapier. In einem Platinlöffel geschmolzen zeigt es dieselbe merkwürdige Erscheinung wie das Tantalfluorkalium. Es schmilzt leicht bei geringer Hitze, bei stärkerer Hitze wird es aber unschmelzbar, und der Rückstand erscheint darauf ganz blau. Befeuchtetes Lackmuspapier wird von dem Rückstand gebläut.

Aus der von dem beschriebenen Salze getrennten Lösung wurde durchs Eindampfen noch ein zweites Salz nach dem Erkalten, aber nur in geringer Menge, erhalten, das nach dem Pressen zwischen Fliefspapier und nach einem Trocknen bei 100° C. sich leicht und vollständig in Wasser löste, welche Lösung durch einen Zusatz von ver-

dünnter Schwefelsäure sich nicht trübte. Aus dem zur Trocknifs abgedampften Rückstand wurden aus 1,022 Grm. des Salzes 0,402 Grm. Niobsäure und 0,750 Grm. schwefelsaures Kali erhalten.

Im Hundert ist daher die Zusammensetzung des Salzes:

Kalium	32,90
Niob	29,63
Fluor (als Verlust)	37,47
	100,00.

Das Kalium erfordert 15,83 Theile Fluor und das Niob 23,02. Diese Mengen verhalten sich nahe wie 2 : 3. Wenn das Salz nicht eine Mengung des vorigen Salzes mit Fluorkalium ist, was wohl wahrscheinlich seyn kann, so ist seine Zusammensetzung durch $4KF + 3NbF^2$ auszudrücken.

Die Mutterlauge von diesem Salze gab durch ferneres Concentriren noch eine bedeutende Menge von einem zerfliefslichen krystallinisch-fasrigen Salze, das aus reinem wasserhaltigen Fluorkalium bestand.

Die Doppelverbindung von Fluorkalium mit Niobfluorid kann mit saurem Fluorkalium verbunden werden. Bei einer anderen Bereitung wurde Niobsäurehydrat in Fluorwasserstoffsäure gelöst, die Lösung wurde mit Kalihydrat vermischt, so aber, dafs sie noch sauer blieb, und bis zur Krystallhaut abgedampft. Die erhaltenen Krystalle wurden zwischen Fliefspapier gepreſst und bei 100° C. getrocknet. Aus 1,432 Grm. des Salzes wurden 1,174 Grm. schwefelsaures Kali und 0,396 Grm. Niobsäure erhalten.

Die Zusammensetzung im Hundert ist daher:

Kalium	36,80
Niob	20,82
Fluor (als Verlust)	42,38
	100,00.

Zur Bildung von Fluorkalium gehören 17,70 Th. Fluor, und zur Bildung von Niobfluorid 16,05 Th.; im Ganzen also 33,75 Th. Besteht die Differenz zwischen dieser Zahl und dem sich aus dem Verluste ergebenden Fluorgehalte aus Fluorwasserstoff, so sind in den 8,53 Proc. dieselben 8,10 Fluor

enthalten. Die Fluormengen, die sich mit dem Kalium, dem Niob und dem Wasserstoff verbinden, verhalten sich also wie $1 : 1 : \frac{1}{2}$, und die Zusammensetzung der Verbindung kann durch $2KF + NbF^2 + HF$ oder rationeller durch $(KF + NbF^2) + (KF + HF)$ ausgedrückt werden.

Niobfluornatrium. — Eine Lösung von Niobsäurehydrat in Fluorwasserstoffsäure wurde mit kohlensaurem Natron versetzt, bis die Lösung noch schwach, aber deutlich sauer reagirte. Es entstand dadurch ein krystallinischer Niederschlag, der sich nicht wieder löste, als die Flüssigkeit der Neutralisation sich näherte. Das auskrystallisirte Salz wurde getrennt, mit wenig kaltem Wasser abgewaschen und zwischen Löschpapier gepreſst. Durch's Trocknen bei 100° C. änderte es sein Gewicht nicht.

1,531 Grm. des getrockneten Salzes mit Wasser behandelt, lösten sich vollständig in demselben durch gelindes Erwärmen auf. Die Lösung mit Schwefelsäure versetzt, blieb klar. Zur Trockniſs eingedampft, wurden aus dem Rückstand 0,394 Grm. Niobsäure und 1,250 Grm. schwefelsaures Natron erhalten. Die Zusammensetzung des Salzes im Hundert ist also:

Natrium	26,56
Niob	19,38
Verlust	54,06
	100,00

Der Verlust besteht nicht in Fluor allein, denn das bei 100° C. getrocknete Salz gab eine sehr bedeutende Menge von reinem Wasser, als es mit einem Uebermaaſs von frisch geglühtem Bleioxyd erhitzt wurde. Das Salz enthielt also Fluorwasserstoff.

Die Menge des Fluors, welchen das Niob und das Natrium aufnehmen, sind 14,95 und 21,58. Der im Salze enthaltene Fluorwasserstoff beträgt daher 7,53 Proc., die 7,15 Fluor enthalten. Die Fluormengen, welche der Wasserstoff, das Niob und das Natrium aufnehmen, verhalten sich also wie 1 : 2 : 3; und die Zusammensetzung des Salzes ist daher

$3\,NaF + NbF^2 + HF$ oder vielmehr $(2\,NaF + NbF^2) + (NaF + HF)$.

Wird dieses Salz im Platinlöffelchen erhitzt, so wird es zuerst blau, schmilzt aber nicht bei der Hitze, bei welcher die Verbindungen des Fluorkaliums mit Niobfluorid schmelzen, und wird dann weifs.

Die vom ersten Anschufs des Salzes getrennte Flüssigkeit gab nach dem Concentriren durch Abdampfen aufs Neue ein krystallinisches Salz, das zwischen Fliefspapier stark gepreſst und bei 100° C. getrocknet wurde. Es löste sich nach dem Trocknen vollständig in Wasser auf; die Lösung wurde ebenfalls nicht, wie die des vorigen Salzes, durch Schwefelsäure getrübt. Zur Trockniſs abgedampft, wurden aus dem Rückstand von 1,301 Grm. des getrockneten Salzes 0,452 Grm. Niobsäure und 0,984 Grm. schwefelsaures Natron erhalten. Das Salz enthält daher im Hundert:

Natrium	24,60
Niob	26,17
Verlust	49,23
	100,00

Auch hier wie bei dem vorigen Salze besteht der Verlust aus Fluor und aus Fluorwasserstoff. Die Mengen des Fluors, welche das Niob und das Natrium aufnehmen, betragen 20,19 und 20,00. Es sind also 9,04 Proc. Fluorwasserstoff im Salze, die 8,58 Fluor enthalten. Man kann daher annehmen, dafs die Zusammensetzung des Salzes sey $2\,NaF + NbF^2 + HF$, oder vielmehr $(NaF + NbF^2) + (NaF + HF)$.

Die Mutterlauge des zweiten Anschusses wurde in einer Platinschale der Luft ausgesetzt, wodurch die Flüssigkeit mit der Zeit verdampfte, und ein blättrig krystallinisches Salz zurückblieb, das bei 100° C. getrocknet wurde. Es löste sich vollständig in Wasser auf, und die Lösung blieb wie die der anderen Fluorverbindungen des Niobs bei einem Zusatz von Schwefelsäure klar. Wie die andern Verbindungen analysirt, gaben 1,320 Grm. des Salzes

0,802 Grm. schwefelsaures Natrum und 0,639 Grm. Niobsäure. Es enthält das Salz daher im Hundert:

Natrium	19,77
Niob	36,46
Verlust	43,77
	100,00

Das Natrium erfordert 16,06 Th. und das Niob 28,12 Th. Fluor. Die Menge des Fluors, die sich aus dem Verluste ergiebt, giebt eine ähnliche Zahl, wie die Summe beider Fluormengen, so dafs in diesem Salzanschufs Fluorwasserstoff nicht vorhanden seyn kann. Das Salz besteht also wesentlich, wie das des zweiten Anschusses aus $NaF + NbF^2$, aber ohne $NaF + HF$, gemengt aber mit etwas NaF.

Man ersieht aus diesen Versuchen, dafs das Niobfluorid sich in vielen Verhältnissen mit den alkalischen Flurmetallen und mit Fluorwasserstoff verbinden kann, und wahrscheinlich wird das Niobfluorid sich mit anderen Fluormetallen auf eine ähnliche Weise in mannichfaltigen, aber doch einfachen Verhältnissen vereinigen können.

Auffallend ist es aber, dafs unter den dargestellten Verbindungen keine sich findet, die den neutralen niobsauren Salzen entspricht, in denen der Sauerstoff in der Base zu dem in der Säure sich wie 1 : 4 verhält.

IV. *Magnetische Untersuchungen, angestellt mit dem Diamagnetometer des Hrn. Prof. Weber;* von *Adam Arndtsen,*

Adjunct an der Universität zu Christiania.

Durch Versuche von W. Weber [1]), J. Müller [2]) und Joule [3]) ist bewiesen worden, dafs der Magnetismus des Eisens bei immer wachsenden magnetisirenden Kräften sich zuletzt einem Gränzwerth nähert, den er nie überschreiten kann.

Dieses Factum hat, wie bekannt, dadurch ein besonderes Interesse gewonnen, dafs es zur Entscheidung dienen kann, welche von den verschiedenen für den Magnetismus aufgestellten Hypothesen als die wahrscheinlichste angesehen werden müsse (nämlich Ampère's Theorie der drehbaren Molecularströme). Nun ist indessen, meines Wissens, das Eisen der einzige der zahlreichen magnetischen Körper, mit dem derartige Versuche angestellt worden sind, was gewifs darin seinen Grund hat, dafs die Mehrzahl von diesen Körpern nur einen verhältnifsmäfsig sehr geringen Grad von Magnetismus anzunehmen fähig ist, und dafs man bis zur letzten Zeit der experimentellen Hülfsmittel zur genauen Messung solcher schwachen magnetischen Kräfte entbehrte.

Dieser Mangel ist nun, wie bekannt, aufs Vollständigste entfernt durch das von Hrn. Prof. W. Weber construirte Instrument, welches, da es ursprünglich zur Untersuchung von diamagnetischen Körpern bestimmt war, den Namen *Diamagnetometer* führt, aber offenbar ebenso gut zur Messung ferromagnetischer Kräfte benutzt werden kann, sobald nur diese Kräfte schwach genug sind.

1) Elektrodynamische Maafsbestimmungen, insbesondere Diamagnetismus, S. 566.

2) Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik Bd. I, S. 494. — Pogg. Ann. Bd. 79, S. 337.

3) *The Annals of Electricity etc. by W. Sturgeon. Vol. V, p.* 472.

Da ich während meines Aufenthaltes in Göttingen durch die Güte des Hrn. Prof. Weber dieses Instrument zu studiren und benutzen Gelegenheit hatte, so habe ich mit demselben eine Reihe von Versuchen angestellt, deren Hauptziel war nachzuweisen, inwiefern jenes für Eisen constatirte Gesetz auch in Bezug auf andere magnetische Körper, sowohl im festen wie im flüssigen Aggregatzustand, seine Gültigkeit habe.

Gleich zu Anfang dieser Untersuchungen zeigte sich ein beim ersten Anblicke ganz räthselhaftes Phänomen, was indessen augenscheinlich in der eigenthümlichen Construction des Instrumentes seinen Grund hatte. Dieses Phänomen aufzuklären und zu beherrschen stellte sich also als die erste Aufgabe dar, welche zu lösen nur durch ein gründliches Studium des Instrumentes selbst zu erreichen war. Da diese Untersuchung des Instrumentes in Bezug auf die Theorie desselben ein wichtiges und neues Moment bildet, so werde ich sie hier in wenigen Worten vorausschicken.

I. Beitrag zur Theorie des Diamagnetometers.

Da die Einrichtung des Instrumentes hier als bekannt vorausgesetzt wird [1]), so bringe ich nur in Erinnerung, dafs dasselbe wesentlich aus zwei verticalen Magnetisirungsspiralen besteht, vor deren Mitte ein astatisches Magnetsystem angebracht ist, dessen beide Nadeln in derselben Horizontalebene schweben. Die beiden Drahtspiralen sind im entgegengesetzten Sinne gewickelt, so dafs sich (wenn ein elektrischer Strom durchgeleitet wird) ihre Wirkung auf das Magnetsystem gegenseitig aufheben würde, wenn eine vollkommene symmetrische Stellung praktisch zu erreichen wäre. Da dieſs aber nicht möglich ist, so wird die letzte rückständige Wirkung durch eine dritte Rolle, *Correctionsrolle*, die in passender Stellung und Entfernung angebracht wird, vollständig aufgehoben, und man hat dann ein System von Leitern, durch welches der stärkste Strom circuliren kann, ohne

1) Dasselbe ist von Tyndall vollständig beschrieben in »*Philosophical Transactions*« *Vol.* 146, *part* 1, *p.* 240 u. s. w.

dafs dadurch eine Ablenkung des äufserst empfindlichen Magnetsystems hervorgebracht wird.

Wird dagegen in jede Spirale ein magnetischer Körper (in Form von Cylindern) hineingebracht und die Stellung so regulirt, dafs das obere Ende des einen Cylinders und das untere Ende des anderen in gleicher Höhe mit der Magnetnadel sich befinden, so werden alle vier Pole des magnetischen Systems in einem und demselben Sinne gedreht. Es versteht sich von selbst, dafs, wenn man die beiden magnetischen Cylinder in die entgegengesetzte Stellung bringt, dann auch das Magnetsystem in entgegengesetztem Sinne gedreht wird.

Ich habe oben bemerkt, dafs bei der ersten Benutzung des Instrumentes ein, wie es schien, unerklärliches Phänomen auftrat. Diefs bestand darin, dafs die Schwingungsdauer des astatischen Magnetsystems, die ungefähr 32 Sekunden betrug, wenn kein Strom durch die Spiralen circulirte, bis 35, 38, 42, 45 und 51 Sekunden wuchs, wenn ein galvanischer Strom, dessen Stärke resp. gleich 17, 30, 40, 47 und 57 (nach absoluten magnetischen Einheiten) war, durch die Spiralen geleitet wurde. In diesem Fall hatte der Strom immer dieselbe in Fig. 7 Taf. IV angedeutete Richtung, wo NS und $N'S'$ die beiden Magnetisirungsspiralen bezeichnen, und ns die Correctionsrolle ist, die in einer Entfernung von ungefähr 500 Millimetern nördlich von der Magnetnadel aufgestellt war. Diese Stromrichtung ist im Folgenden als die *positive* bezeichnet.

Es lag nahe zu untersuchen, ob die Schwingungsdauer, aufser der Intensität, auch von der Richtung abhängig wäre. Der Strom wurde deshalb commutirt und ebenso eine Reihe von Bestimmungen der Schwingungsdauer bei *negativer* Stromrichtung (Fig. 8 Taf. IV) ausgeführt. Es ergab sich dann das Resultat, dafs die Schwingungsdauer jetzt, statt wie früher zu wachsen, mit zunehmender Stromstärke sehr regelmäfsig abnahm.

Um zu prüfen, inwiefern die Correctionsrolle in Bezug auf diese Veränderlichkeit der Schwingungsdauer von Ein-

flufs sey, wurde dieselbe ausgeschaltet und darauf die Schwingungsdauer wieder bei verschiedenen Stromintensitäten und Stromrichtungen gemessen. Es ergab sich dadurch wesentlich dasselbe Resultat wie früher, doch mit dem Unterschiede, dafs die Schwingungsdauer bei negativer Stromrichtung etwas kleiner, bei positiver Stromrichtung dagegen etwas gröfser war als mit eingeschalteter Correctionsrolle.

In Fig. 9 Taf. IV ist eine graphische Darstellung von der Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Stromstärke gegeben, (die Curve *MM* bezeichnet diese Dauer *mit* Correctionsrolle, die *OO* ohne dieselbe) und in der folgenden Tafel sind die vorgenommenen Messungen der Schwingungsdauer nebst dem logarithmischen Decremente zusammengestellt. Es mufs bemerkt werden, dafs die Stromintensitäten, die nach absolutem Maafs ausgedrückt sind, hier wie in den folgenden Versuchen mit Hülfe einer Tangentenbussole von grofsen Dimensionen ermittelt wurden, deren mit Spiegel versehene Nadel mit Fernrohr und Scale beobachtet wurde.

Man ersieht aus der folgenden Tafel, wie regelmäfsig die Schwingungsdauer mit der Stromintensität zunimmt (insbesondere bei eingeschalteter Correctionsrolle) und zugleich, dafs das logarithmische Decrement vollkommen proportional mit der Schwingungsdauer wächst, was man schon *a priori* wissen konnte.

	Schwingungsdauer		
Strom-intensität.	mit Correc-tionsrolle.	ohne Correc-tionsrolle.	Decrem. log.
— 54,133	—	23″,63	
— 53,800	26″,70	—	0,2815774
— 46,278	—	23,66	
— 41,808	27,90	—	
— 34,612	—	25,00	
— 30,498	28,77	—	
— 19,071	—	27,89	
— 17,593	30,27	—	
0,000	32,37	32,37	0,3414597

Strom-intensität.	Schwingungsdauer mit Correctionsrolle.	Schwingungsdauer ohne Correctionsrolle.	Decrem. log.
+ 17,378	35,16	—	0,3765971
+ 18,062	—	37,25	
+ 29,982	38,25	—	0,4122627
+ 30,468	—	50,50	
+ 40,521	41,91	—	0,4469615
+ 40,691	—	54,00	
+ 47,012	44,85	—	0,4625535
+ 49,133	—	60,75	
+ 57,660	50,87	—	0,5148676

Die angeführten Resultate können in folgenden fünf Punkten kurz zusammengefafst werden:

1. Bei positiver Stromrichtung (Fig. 7 Taf. IV) nimmt die Schwingungdauer mit der Stromstärke zu.

2. Bei negativer Stromrichtung (Fig. 8 Taf. IV) nimmt die Schwingungsdauer mit wachsender Stromintensität ab.

3. Diefs findet statt, sowohl wenn die Correctionsrolle eingeschaltet, als wenn dieselbe ausgeschaltet ist, doch mit dem Unterschied, dafs im letzteren Fall die Differenzen der Schwingungsdauern noch gröfser sind als im ersten: oder mit anderen Worten:

4. Die Correctionsrolle *verringert* die Schwingungsdauer bei *positiver* Stromrichtung.

5. Die Correctionsrolle *vergröfsert* die Schwingungsdauer bei *negativer* Stromrichtung.

Zu diesen Thatsachen kommen noch die folgenden:

6. Sind die beiden Magnetstäbe, die das astatische System bilden, ungleich stark, und ist der Stab, dessen Nordende nach Norden gerichtet ist, der überwiegende, so verhält sich, wenn man einen Magnetpol dem astatischen Nadelpaar nähert, das nördliche Ende desselben wie im Nordpol, das südliche wie im Südpol, sowohl wenn man von Osten als wenn man von Westen den Magnetpol nähert.

7. Durch Abzählung der Windungen ergab sich, dafs die oberen Theile der beiden Spiralen, eine gröfsere Anzahl von Windungen hatten als die unteren.

8. Die oberen Theile der beiden Spiralen überwiegen also die unteren.

9. Bei positiver Stromrichtung hat die nördliche Spirale ihren Nordpol nach oben, also die südliche Spirale ihren Südpol nach oben; ferner hat in diesem Falle die Correctionsrolle ihren Südpol nach Süden gerichtet (Fig. 7 Taf. IV). Bei negativer Stromrichtung ist natürlich Alles umgekehrt (Fig. 8 Taf. IV).

10. Bei einem positiven Strom = 40 war die Schwingungsdauer = 41 Sek. Durch Hebung der Nadel um 5 Millimeter über den normalen Stand wurde die Schwingungsdauer auf 35,5 Sekunden verringert; wurde dagegen die Nadel 3 Millimeter unter den Normalstand gesenkt, so wuchs die Schwingungsdauer bis 53 Sekunden. Als die Nadel noch 2^{mm} tiefer gesenkt wurde, hatte sie keine stabile Gleichgewichtslage mehr, sondern stiefs entweder gegen die eine oder die andere Säule an.

Von diesen Thatsachen ausgehend, läfst sich die Sache folgenderweise erklären:

11. Die Veränderlichkeit der Schwingungsdauer setzt nothwendig Aenderungen der auf das Magnetsystem wirkenden Directionskräfte voraus. Diese sind: *a*) ***Die Torsionskraft des Fadens***, *b*) ***die erdmagnetische Directionskraft***, und *c*) ***die elektromotorische Directionskraft*** (theils von den beiden Spiralen, theils von der Correctionsrolle herrührend) [1]). Von diesen verschiedenen Directionskräften ist es nur die letztere, die sich mit der Richtung und Stärke des Stromes ändern kann.

12. Nach 6. kann das astatische Nadelpaar als ein schwacher Magnet, mit dem Nordpol nach Norden gerichtet, betrachtet werden. Der Erdmagnetismus übt also auf dasselbe

1) Oben ist gesagt worden, dafs die von den Magnetisirungsspiralen resultirende Wirkung durch die Correctionsrolle compensirt werde. Diese Compensation gilt indefs nur für die Ablenkung der Nadel, nicht für die auf dieselbe wirkende Directionskraft; denn es leuchtet ein, dafs die von den Spiralen hervorgebrachte Ablenkung aufgehoben seyn kann, während sie noch eine gröfsere oder geringere Directionskraft ausüben.

eine gewisse Directionskraft aus. Nach 9. hat bei positiver Stromrichtung die nördliche Spirale ihren Nordpol nach oben, und dieser Nordpol überwiegt nach 7. den Südpol des unteren Endes; die resultirende Wirkung mufs also die eines Nordpols seyn, der folglich die erdmagnetishe Directionskraft entgegen wirkt; die Directionskraft wird also verringert und die Schwingungsdauer mufs mit wachsender Stromstärke zunehmen (s. No. 1).

Diese Wirkung wird von der südlichen Spirale unterstützt, da diese in diesem Fall einen überwiegenden Südpol besitzt.

13. Bei positiver Stromrichtung hat ferner die Correctionsrolle ihren Südpol nach Süden; dieser wird also die Directionskraft vergröfsern: d. i. die Schwingungsdauer mufs mit Correctionsrolle kleiner seyn als ohne dieselbe (s. No. 4).

14. Bei negativer Stromrichtung hat die nördliche Spirale oben ihren Südpol (Fig. 8 Taf. IV), der jetzt der überwiegende ist; die Directionskraft wird also durch denselben vergröfsert: d. i. die Schwingungsdauer nimmt mit der Stromintensität ab (s. No. 2).

15. Bei negativer Stromrichtung hat ferner die Correctionsrolle ihren Nordpol nach Süden und verringert also die Directionskraft: bei negativer Stromrichtung ist die Schwingungsdauer mit Correctionsrolle gröfser als ohne dieselbe (s. No. 5).

16. Wird die Nadel über den gewöhnlichen Stand gehoben, so kommt, relativ zur Nadel, eine geringere Anzahl von Windungen auf den oberen Theil der Spiralen; die überwiegende Wirkung derselben wird also verringert, wenn die Nadel gehoben wird, und umgekehrt vergröfsert, wenn man die Nadel senkt. Bei positiver Stromrichtung mufs also bei Hebung der Nadel die Schwingungsdauer abnehmen, und umgekehrt (s. No. 10).

Man sieht also, dafs die ganze Erscheinung wesentlich auf folgenden zwei Verhältnissen beruht, nämlich: *erstens, dafs die beiden Magnetnadeln, die das astatische System bil-*

den, ungleich stark sind, und zweitens, dafs die oberen Theile der beiden Spiralen dichter gewickelt sind als die unteren.

Ist nun hiemit die Ursache der Veränderlichkeit der Schwingungsdauer gefunden, so ist dadurch auch gegeben, wie man dieselbe vermeiden könne, was indefs nicht nothwendig ist, da man ja bei jeder Beobachtung die Schwingungsdauer bestimmen, und dann alle Beobachtungen auf eine und dieselbe Schwingungsdauer reduciren kann, (wie in den folgenden Versuchsreihen geschehen ist). Es ist hiebei auch zu bemerken, dafs die Schwingungsdauer sich so regelmäfsig mit der Stromintensität ändert, dafs dieselbe mit vollkommener Sicherheit durch eine quadratische Gleichung von der Form

$$t = a + bi + ci^2$$

ausgedrückt werden kann, wo t die Schwingungsdauer bezeichnet, i die Stromintensität, a, b und c Constanten. Durch die Methode der kleinsten Quadrate wurde gefunden (bei positiver Stromrichtung):

$$a = 32'',61,$$
$$b = 0{,}04959,$$
$$c = 0{,}004568,$$
$$t = 32'',61 + 0{,}04959\,i + 0{,}004568\,i^2.$$

Zum Beweis, wie nahe die nach dieser Formel berechneten Werthe mit den beobachteten übereinstimmen, wird die folgende Tafel dienen:

Stromintensität.	Schwingungsdauer berechnet.	Schwingungsdauer beobachtet.	Unterschiede.
17,378	34″,85	35″,16	+ 0″,31
29,982	38 ,20	38 ,25	+ 0 ,05
40,521	42 ,12	41 ,91	— 0 ,21
47,012	45 ,03	44 ,85	— 0 ,18
57,660	50 ,66	50 ,87	+ 0 ,21

Zum Schlufs will ich noch hinzufügen, dafs die Veränderlichkeit der bei dem Diamagnetometer in Betracht kommenden Directionskräfte auch einen gewissen praktischen Vortheil darbietet. Hat man nämlich mit sehr schwachen

magnetischen Kräften zu thun, so läfst man den Strom in der als positiv bezeichneten Richtung circuliren, wodurch die Directionskraft verringert, also die Empfindlichkeit des Instrumentes vergröfsert wird. Ist dagegen der zu untersuchende Körper stärker magnetisch, so wählt man die negative Stromrichtung, die die Empfindlichkeit verringert. Im Folgenden habe ich Gelegenheit gehabt diesen kleinen Kunstgriff mit Vortheil zu benutzen.

II. Bemerkung zu dem letzten diamagnetischen Versuche von J. Tyndall.

In den *Philosophical Transactions Vol.* 146, *part.* 1, *p.* 237 liefert Hrn. J. Tyndall eine längere Reihe von magnetischen und diamagnetischen Versuchen, die er angestellt hat mit einem Diamagnetometer, das ganz nach demselben Muster gebaut war, wie das von mir benutzte.

p. 244 findet man eine Versuchsreihe über Wismuth, wo der Verfasser successive einen Strom von 2, 3 und 4 Elementen in Anwendung bringt, während doch merkwürdiger Weise die beobachteten Wirkungen immer die nämlichen bleiben.

Ich glaube, dieſs ist leicht zu erklären nach dem, was ich in §. 1 angeführt habe. Ohne Zweifel findet bei Hrn. Tyndall's Apparat eine ähnliche Unsymmetrie statt wie bei dem oben beschriebenen. Zufällig hat Tyndall die oben als negativ bezeichnete Stromrichtung angewandt, wo die Directionskraft mit der Stromintensität zunimmt. Wenn nun ferner, diesem zufolge, die Empfindlichkeit des Nadelpaars in demselben Verhältnifs abnimmt, wie der Wismuth-Diamagnetismus zunimmt, so leuchtet ein, dafs die beobachteten Wirkungen immer die nämlichen seyn müssen.

III. Bestimmung der magnetisirenden Kraft des Diamagnetometers.

Ist die Intensität des Stromes, die durch eine Magnetisirungsspirale circulirt, nach absolutem Maafs [1]) gegeben, und

1) Das von Weber eingeführte magnetische Maafs für die Stromintensitäten ist, wie bekannt, die Intensität desjenigen Stromes, welcher, wenn

sind zugleich die Dimensionen der Spirale und die Zahl der Windungen bekannt, so kann die im Innern der Spirale wirkende magnetisirende Kraft nach absolutem magnetischem Maafs ausgedrückt werden, was den Vortheil darbietet, dafs dieselbe mit anderen bekannten magnetischen Kräften verglichen werden kann.

Bei dem hier benutzten Apparat war die Länge der Spiralen = 499,2 Millimeter; sie bestanden aus 2 Schichten, jede mit 223 Windungen; der innere Radius war 12,96^{mm}, der äufsere Radius = 17,6^{mm}.

Bezeichnet man mit r den Radius einer Windung, mit x den Abstand des Centrums derselben von der Mitte der Spirale, mit $r\,d\varphi$ die Länge eines Stromelementes und endlich mit i die Stromintensität, so ist, wie bekannt, die von diesem Stromelement in der Mitte der Spirale ausgeübte Kraft =

$$\frac{i r^2 d\varphi}{(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}},$$

die von der ganzen Windung ausgeübte Kraft ist also gleich:

$$\frac{2\pi r^2 i}{(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Bezeichnet man ferner mit n die Anzahl der Windungen und mit $2a$ die Länge der Spirale, so ist die von der ganzen Spirale in der Mitte derselben ausgeübte Kraft =

$$X = 2\pi r^2 i \,.\, \frac{n}{2a} \int_{-a}^{+a} \frac{dx}{(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{2\pi n i}{\sqrt{a^2+r^2}}$$

Da im vorliegenden Fall die Spiralen aus 2 Lagen bestehen, so erhält man, wenn man die angegebenen Dimensionen einführt:

$$X = 2\pi i \,.\, 223 \,.\, \frac{2}{4{,}64} \int_{12{,}96}^{17{,}6} \frac{dr}{\sqrt{a^2+r^2}} = 11{,}205 \times i.$$

er eine Ebene = 1 umläuft, nach den elektro-magnetischen Gesetzen die nämlichen Wirkungen in die Ferne ausübt, wie im Magnetstab dessen magnetisches Moment = 1 ist.

IV. Bestimmung des Reductionsfactors des Diamagnetometers.

Um die mit dem Diamagnetometer gemessenen Kräfte mit anderen bekannten magnetischen Kräften vergleichen zu können, hat man den Factor zu bestimmen, mit dem die in Scalentheilen oder Graden ausgedrückten Angaben des Diamagnetometers multiplicirt werden müssen, um nach absolutem magnetischem Maafs ausgedrückt zu werden.

Zu diesem Zweck wurde in die eine Magnetisirungsspirale eine kleine Drahtrolle gebracht, und durch dieselbe ein äufserst schwacher Strom geleitet. Aus den bekannten Dimensionen der Rolle, der Zahl der Windungen derselben und der gemessenen Stromintensität wurde das magnetische Moment der Rolle berechnet, und diefs, mit der auf das Diamagnetometer ausgeübten Wirkung verglichen, gab dann unmittelbar den gesuchten Factor.

Die zu diesem Zwecke benutzte Rolle war von sehr feinem Draht (dessen Durchmesser $0{,}15^{mm}$) in 2 Schichten gewickelt und hatte übrigens folgende Dimensionen:

Länge = 141 Millimeter
äufserer Durchmesser = 21,18 »
innerer Durchmesser = 20,58 »
die innere Lage bestand aus 653 Windungen
» äufsere » » » 690 »

Daraus folgt: *Die Summe der sämmtlichen von den Windungen umschlossenen Kreisflächen*

= 46006 Quadratmillimeter.

Diese Rolle wurde in die nördliche Spirale des Diamagnetometers gebracht und ein schwacher Strom gleichzeitig durch dieselbe und durch eine Tangentenbussole mit zahlreichen (5635) Windungen geleitet. Diese Tangentenbussole ist dieselbe, die in der Abhandlung von Kohlrausch und Weber, »Zurückführung der Stromintensitäts-Messungen auf mechanisches Maafs«, beschrieben ist. Nach S. 259 dieser Abhandlung ist

$$\frac{D}{m} = 262{,}1,$$

wo m das magnetische Moment der in der Mitte der Windungen schwebenden Magnetnadel bedeutet, und D das Drehungsmoment, welches ein Strom $= 1$ auf die Nadel ausüben wird, wenn derselbe sämmtliche Windungen durchläuft.

Circulirt nun ein Strom $= i$ durch den Multiplicator, und erleidet die Nadel dadurch eine Ablenkung $= \varphi$, so ist die Intensität des Stromes gleich:

$$i = \frac{1{,}81}{262{,}1} \cdot \operatorname{tang} \varphi,$$

(da die horizontale Componente des Erdmagnetismus jetzt in Göttingen $= 1{,}81$ ist).

Die mit dem Diamagnetometer ausgeführten Messungen sind beispielsweise, (da nämlich bei allen folgenden Versuchen die Messungen auf ganz dieselbe Weise angestellt worden sind), in folgender Tafel zusammengestellt:

Stellung der Drahtrolle.	Elongationen der Nadel.	Ruhestände der Nadel[1]).	Mittel.	Ablenkung.
obere	547,7 515,0 530,0 523,1	525,2 525,3 525,3	525,26	24,26
untere	455,0 486,5 472,2 479,0	476,6 476,7 476,9	476,73	24,18
obere	547,0 515,0 529,7 523,0	525,0 525,1 525,2	525,10	23,77
untere	456,10 487,20 473,05 479,80	477,5 477,5 477,69	477,56	23,67

1) Die Ruhestände sind nach der Formel:

$$p = x' - \frac{\theta}{1+\theta}(x' - x)$$

berechnet, wo p den gesuchten Ruhestand bezeichnet, x' und x zwei

Stellung der Drahtrolle.	Elongationen der Nadel.	Ruhestände der Nadel	Mittel.	Ablenkung
obere	546,1 515,0 529,5 522,9	524,7 525,0 525,0	524,9	23,42
untere	456,6 487,9 473,7 480,0	478,1 478,1 478,0	478,06	23,30
obere	546,0 515,0 529,0 522,7	524,7 524,6 524,7	524,66	23,18
untere	457,1 487,9 474,0 480,1	478,3 478,4 478,2	478,3	

Also die mittlere Ablenkung

$$= 23{,}68 \text{ Scalentheile.}$$

Da die Schwingungsdauer der Nadel 32,″5 betrug, und da alle in dem Folgenden angeführten Beobachtungen auf eine Schwingungsdauer $= 30''$ reducirt worden sind, so mufs auch hier dieselbe Reduction vorgenommen werden. Man erhält dann die reducirte Ablenkung

$$= \frac{30^2}{32{,}5^2} \cdot 23{,}68 = 20{,}18 \text{ Scalentheile } ^1).$$

Unmittelbar vor und nach jeder Beobachtung des Diamagnetometers wurde der Stand der Tangentenbussole aufgezeichnet. Es ergab sich die mittlere Ablenkung der Nadel

nach einander folgende Elongationen, und endlich $\log \frac{1}{\theta}$ das logarithmische Decrement, welches im vorliegenden Fall $= 0{,}34146$ war (Gaufs, Resultate aus den Beob. des magn. Vereins für 1837, S. 78).

1) Der horizontale Abstand zwischen Spiegel und Scale war bei diesen wie bei den folgenden Versuchen

$$= 4145{,}4 \text{ Millimeter.}$$

(1000 Scalentheile waren $= 1004{,}3^{mm}$).

$$\varphi = 7^\circ\ 37'\ 54'',$$

also

$$i = \frac{1{,}81}{262{,}1} \cdot \text{tang}\ 7^\circ\ 37'\ 54'' = 0{,}0009253,$$

und das magnetische Moment der kleinen Drahtrolle:

$$M = 460066 + 0{,}0009253 = 425{,}7.$$

Da nun dieses Moment einen Ausschlag = 20,18 Scalentheile hervorbrachte, so ergiebt sich der gesuchte Reductionsfactor

$$f = \frac{425{,}7}{20{,}18} = 21{,}095.$$

Später wurde dieser Versuch wiederholt, und dabei

$$f = 21{,}263$$

gefunden; also ist im Mittel von beiden Messungen

$$f = 21{,}179.$$

V. Versuche mit Eisenvitriol.

Zwei cylindrische Glasröhren wurden mit einer concentrirten Lösung von Eisenvitriol gefüllt und auf die gewöhnliche Weise in die Spiralen des Diamagnetometers gebracht.

Die Länge der Flüssigkeitssäule betrug = 141^{mm}

der mittlere Durchmesser derselben = 19,48^{mm}

Die gesammte Masse der Lösung betrug:

102140 Milligrm.

worin

30089 Milligrm.

Eisenvitriol enthalten waren.

Mit diesen Röhren wurden nun bei verschiedenen Stromintensitäten Messungen vorgenommen, ganz auf dieselbe Weise wie die im vorigen §. angeführten. Die Resultate sind in folgender Tafel zusammengestellt:

No.	i	X	E	t	$E_{red.}$
1	3,149	35,28	5,50	32",82	4,60
2	17,487	195,94	26,65	35 ,16	19,40
3	29,018	325,15	51,53	37 ,90	32,28
4	40,056	448,83	83,83	41 ,93	42,91
5	49,679	556,65	123,51	46 ,34	51,76
6	53,649	601,14	147,36	18 ,42	56,56

In erster Rubrik stehen die Stromintensitäten (i) [1]), in zweiter Rubrik die magnetischen Kräfte, die man nach §. 3 durch Multiplication der Stromintensitäten in den Factor 11,205 erhält; in der dritten Rubrik die beobachteten Ablenkungen. In der vierten und fünften Rubrik endlich findet man die Schwingungsdauer und die auf eine Schwingungsdauer = 30 Sekunden reducirten Ablenkungen.

Wenn man die reducirten Ablenkungen mit dem Factor $f = 21{,}179$ (s. §. 4), multiplicirt, erhält man den Magnetismus M der Lösung nach absolutem Maafs. Dividirt man dann ferner M durch die Masse = 30089 des in der Lösung befindlichen Eisenvitriols, erhält man den zur Masseneinheit reducirten Magnetismus $= m$ desselben.

Nach Ausführung dieser Rechnung ergeben sich folgende Werthe:

No.	X	m
1	35,28	0,0032378
2	195,84	0,013655
3	325,15	0,022721
4	448,83	0,023991
5	556,65	0,036433
6	601,14	0,039811

1) Die Stromstärke wurde gemessen mit Hülfe einer Tangentenbussole, deren Nadel wie ein Magnetometer mit Spiegel versehen war. Da der mittlere Radius des Ringes

$$302{,}75^{mm}$$

betrug, so war die Stromintensität

$$i = \frac{1{,}81}{2\pi} . 302{,}75 \text{ tang } \varphi = 87{,}093 \text{ tang } \varphi,$$

wenn φ die Ablenkungswinkel bezeichnet. Da öfter Ströme von beträchtlicher Stärke in Anwendung gebracht wurden, mufsten dieselben, ehe sie in der Tangentenbussole anlangten, getheilt werden. Der Widerstand des Zweiges, von dem die Tangentenbussole einen Theil ausmachte, verhielt sich zum Widerstand des anderen Zweiges wie

$$9 : 1.$$

Ist dann i die Intensität des ungetheilten Stroms, so ist

$$i = 10 i',$$

wenn i' den durch die Tangentenbussole gemessenen Zweigstrom bedeutet.

Dividirt man jeden Werth für m mit dem entsprechenden Werth für X, so ergiebt sich:

aus	No. 1	0,0000918
»	2	0,0000696
»	3	0,0000698
»	4	0,0000534
»	5	0,0000654
»	6	0,0000662
	im Mittel	0,0000693.

Man sieht hieraus, dafs der Magnetismus so nahe proportional mit der magnetisirenden Kraft zugenommen hat, dafs die kleinen Abweichungen von vollkommener Proportionalität, die stattfinden, auf Rechnung der Beobachtungsfehler und anderer unvermeidlicher Fehler geschrieben werden müssen.

Dieses Resultat: die Proportionalität des Magnetismus mit der magnetisirenden Kraft, ist nun ein anderes als das, was man nach Analogie mit dem Eisenmagnetismus erwarten sollte; doch steht es auf der anderen Seite keineswegs in Widerspruch damit, da man ja weifs, dafs auch bei Eisen bis zu einer gewissen Gränze der Magnetismus als proportional mit der Scheidekraft angesehen werden kann.

Das Mittel aus den in der letzten Tafel enthaltenen Zahlen bezeichnet den Magnetismus, der in einem Milligrm. Eisenvitriol durch eine magnetisirende Scheidekraft $= 1$ hervorgerufen wird, was man den *specifischen Magnetismus* desselben nennen kann.

VI. Versuche mit Eisenchlorid-Lösung.

Prof. Müller führt in der oben citirten Abhandlung an, es sey mit dünnen Eisenstäben leichter als mit dicken nachzuweisen, dafs der Magnetismus sich einem Gränzwerthe nähert. Da man erwarten darf, dafs dasselbe auch bei anderen magnetischen Körpern der Fall sey, so wurde bei diesem Versuche ein viel dünneres Glasrohr gebraucht als in dem vorhergehenden, nämlich von dem mittleren Durchmesser $= 8{,}66$ Millimeter.

In zwei solche Röhren wurde eine concentrirte Lösung von reinem Eisenchlorid gefüllt. Die gesammte Masse der Flüssigkeit betrug

24832 Milligrm.

Hr. Prof. Wicke hatte die Güte die Lösung analysiren zu lassen, wodurch gefunden wurde, dafs dieselbe

45,3322 Proc.

Eisenchlorid enthielt. Daraus folgt: Die Masse des in beiden Röhren enthaltenen Eisenchlorid

= 11257 Milligrm.

Das specifische Gewicht der Lösung bei + 16° C. gegen Wasser bei + 4° C., wurde = 1,495 gefunden, und endlich war die Länge der beiden Flüssigkeitscylinder = 141^{mm}.

Die Resultate der Messungen sind in der folgenden Tafel enthalten:

No.	i	X	E	A	$E_{red.}$
1	18,091	202,71	13,08	35,″16	9,52
2	30,498	341,73	25,72	38, 25	15,82
3	41,634	466,51	—	—	20,58
4	48,491	543,38	55,56	45, 75	23,89
5	60,532	678,26	91,18	52, 35	29,94

Hieraus ergiebt sich ferner die folgende Tafel, worin m dieselbe Bedeutung hat wie vorher:

No.	X	m
1	202,71	0,017911
2	341,73	0,029764
3	466,51	0,038719
4	543,38	0,044947
5	678,26	0,056329

und endlich findet man hieraus die folgenden Werthe für das Verhältnifs $\frac{m}{X} = \mu$

No.	μ
1	0,0000883
2	871
3	830
4	827
5	830

also im Mittel:

$$\mu = 0{,}0000848.$$

Auch hier sieht man, dafs die verschiedenen Werthe für μ so nahe übereinkommen, dafs man behaupten mufs, der Magnetismus habe proportional mit der Scheidungskraft zugenommen.

VII.

Um nun so weit zu gehen als es mit den disponiblen Mitteln möglich war, wurde eine zweite Versuchsreihe mit derselben Eisenchlorid-Lösung vorgenommen, nur mit dem Unterschied, dafs jetzt noch dünnere und zugleich längere Glasröhren in Anwendung gebracht wurden. Die Flüssigkeitssäulen hatten eine

Länge $= 202^{mm}$
Durchmesser $= 5{,}03^{mm}$;

die Masse derselben war 11988 Milligrm.,
mit Eisenchlorid 5434 »

Die Resultate waren die folgenden:

No.	i	X	E	t	$E_{(red.)}$
1	13,808	154,72	4,11	34,"75	3,06
2	23,757	266,20	7,11	37, 30	4,60
3	41,326	463,06	6,92	27, 54	8,21
4	48,184	539,90	7,84	27, 37	9,42
5	52,590	589,27	8,33	27, 25	10,09

Daraus ergiebt sich:

No.	X	m
1	154,72	0,011926
2	266,20	0,017929
3	463,06	0,031999
4	539,90	0,036715
5	589,27	0,039326

und ferner:

No.	μ
1	0,0000778
2	674
3	691
4	680
5	667

also im Mittel:

$$\mu = 0{,}0000698.$$

Der Grund, warum μ hier kleiner gefunden ist als im vorigen §., liegt ohne Zweifel darin, dafs hier, wegen der gröfseren Länge der untersuchten Cylinder, die im §. 3 gemachte Voraussetzung, dafs nämlich die magnetisirende Kraft der Spirale für den ganzen von den untersuchten Körpern eingenommenen Raum als constant betrachtet werden könne, nicht mehr gilt.

Uebrigens giebt, in Bezug auf den Hauptgegenstand dieser Untersuchungen, auch diese Reihe dasselbe Resultat wie die früheren.

Ich mufs also behaupten, dafs, so weit die Versuche mit den jetzigen Mitteln sich treiben lassen, *der Magnetismus der beiden untersuchten Flüssigkeiten völlig proportional mit den magnetisirenden Kräften zunimmt.* Vorausgesetzt, dafs für dieselben ein Gränzwerth wirklich existire, ist jedoch durch die angeführten Versuche bewiesen, dafs dieser Gränzwerth hier viel schwieriger zu erreichen ist als bei dem Eisen.

VIII. Versuche mit Cyan-Eisen-Kalium.

Die beiden sogenannten Blutlaugensalze, das gelbe und das rothe, haben immer viel Aufmerksamkeit auf sich gezogen, seitdem Faraday entdeckt hat, dafs Krystalle derselben zwischen Magnetpolen sich wie diamagnetische Körper verhalten. Diese Krystalle sind häufig von den Physikern angeführt worden als interessante Beispiele, dafs die magnetischen Eigenschaften des Eisens durch gewisse chemische Verbindungen vollständig versteckt werden können. In Pogg. Ann. Bd. 73, S. 573 werden sie beide von Professor Plücker als diamagnetisch bezeichnet. Durch eine spätere Untersuchung fand indessen Plücker [1]), dafs das rothe Blutlaugensalz stark magnetisch sey, und dafs die scheinbaren diamagnetischen Eigenschaften der Krystalle dieses Salzes in einer magnetischen Axenwirkung ihren

1) Pogg. Ann. Bd. 74, S. 359.

Grund haben. *Das gelbe Blutlaugensalz* erklärte er dagegen als unzweifelhaft diamagnetisch, doch mit dem Zusatz, dafs *eine concentrirte Lösung desselben in Wasser schwächer diamagnetisch sey als reines Wasser.*

Dafs das rothe Blutlaugensalz magnetisch ist, kann keinem Zweifel unterworfen seyn, ein Resultat, das kürzlich von Tyndall bestätigt worden ist [1]) Dagegen scheint ein Zweifel über den Diamagnetismus des gelben Blutlaugensalzes gerechtfertigt zu seyn, wenn man hört, dafs eine concentrirte Lösung desselben schwächer diamagnetisch seyn soll als das reine Wasser.

Zwei Glasröhren von denselben Dimensionen wie die im vorigen Versuche angewandten, wurden mit einer concentrirten Lösung des gelben Blutlaugensalzes gefüllt und auf gewöhnliche Weise untersucht. Es ergab sich dann, dafs die Lösung äufserst schwach diamagnetisch war. Um nun zu prüfen, ob diese Wirkung von dem Wasser oder von dem in demselben enthaltenen Salz herrühre, wurden dieselben Röhren mit fein gepulvertem Salz gefüllt und darauf wieder untersucht. Jetzt wurde nirgend eine Wirkung beobachtet, während es doch einleuchtend ist, dafs, wenn die Substanz wirklich diamagnetisch wäre, dieſs jetzt viel deutlicher hätte hervortreten müssen, da die Masse so viel gröfser war.

Ich mufs also aussprechen: *das gelbe Blutlaugensalz ist nicht diamagnetisch.*

IX. Versuche mit Nickel.

Da meines Wissens früher keine genaueren Untersuchungen über den Magnetismus des Nickels vorgenommen sind, so werden die folgenden Resultate vielleicht nicht ohne Interesse seyn.

Hr. Prof. Wöhler hatte die Güte ein Stück Nickelblech [2]) zu meiner Verfügung zu stellen. Von demselben

1) *Philosophical Transactions. Vol.* 146, *part.* 1, *p.* 254.

2) Dieses Blech war ziemlich unrein; es enthielt nämlich Kupfer, Kobalt, Eisen und Arsen.

wurde ein schmales Streifchen abgeschnitten und so lange mit verdünnter Salpetersäure geätzt, bis die Wirkung schwach genug geworden war.

Das Stäbchen hatte eine Länge

$$= 111{,}5^{mm}$$

und wog

45,2 Milligrm.

Das spec. Gewicht wurde = 8,359 gefunden; also war der mittlere Durchmesser

$$= 0{,}2485^{mm}.$$

Ungeachtet der geringen Masse des kleinen Stäbchens war doch die Wirkung auf das Diamagnetometer sehr stark; um dieselbe zu schwächen, wurden zwei Magnetstäbe in der Nähe des Instrumentes in solcher Lage angebracht, dafs dadurch die Schwingungsdauer des astatischen Nadelpaares auf 14,72 Sekunden herabgebracht wurde.

Nachdem das Stäbchen gut ausgeglüht war, um alle magnetische Polarität zu entfernen, wurde dasselbe in ein kleines Glasrohr eingeschlossen und in die nördliche Spirale des Diamagnetometers eingehängt.

Die Resultate der angestellten Versuche sind in der folgenden Tafel zusammengestellt:

No.	i	X	E	t	$E_{(red.)}$
1	ohne Strom	4,278 [1])	23,17	14″,72	96,24
2	3,014	38,05	41,66	14 ,44	179,81
3	ohne Strom	—	30,92	14 ,72	128,43
4	17,102	195,91	72,26	14 ,11	326,65
5	ohne Strom	—	40,95	14 ,72	170,09
6	28,705	325,92	77,70	14 ,03	355,26
7	ohne Strom	—	42,00	14 ,72	174,45
8	37,18	420,88	79,85	13 ,87	373,56
9	ohne Strom	—	42,41	14 ,72	176,15
10	50,811	573,62	80,76	13 ,77	383,33
11	ohne Strom	—	42,68	14 ,72	177,28

1) Obwohl in den ersten Versuchsnummern kein Strom durch die Spiralen ging, wurde doch der Stab vom Erdmagnetismus ziemlich stark magnetisirt. Die magnetisirende Kraft war also in diesem Fall gleich der verticalen Componente des Erdmagnetismus = 4,278.

Um diese Resultate mit den vorhergehenden vergleichbar zu machen, müssen die gefundenen Werthe für $E_{(r=1)}$ noch auf denselben Abstand zwischen Spiegel und Scale reducirt werden. Bei vorliegendem Versuch war nämlich dieser Abstand $= 1652^{mm}$, bei den früheren dagegen $= 4145^{mm}$ und da ferner 1000 Scalentheile der hier benutzten Scale (No. 2) 985,9 Scalentheilen der früher benutzten Scale (No. 1) gleich waren, so wurden alle Messungen mit der Scale (No. 2) auf die Scale (No. 1) reducirt durch Multiplication mit:

$$\frac{4145,4}{1652,4} \cdot \frac{985,9}{1000} = 2,4733.$$

Wenn man dann ferner mit dem Factor $f = 21,179$ (§. 4) multiplicirt, und endlich mit der Masse des Nickelstäbchens $= 45,2$ dividirt, so erhält man den zur Masseneinheit reducirten Magnetismus $= m$ des Nickels nach absolutem Maafs.

Nach Ausführung dieser Rechnung hat man folgende zwei Tafeln:

Taf. 1.

No.	X	m
1	4,278	111,52
2	38,05	208,38
4	195,91	378,56
6	325,92	411,71
8	420,88	432,93
10	573,62	444,25

Taf. 2.

No.	X	m
3	38,05	148,84
5	195,91	197,12
7	325,92	202,17
9	420,88	202,14
11	573,62	205,45

Aus der Tafel 1 sieht man schon beim ersten Anblick, dafs der *Magnetismus m keineswegs proportional mit der Scheidekraft X wächst, sondern dafs er sich sehr bald einem Gränzwerth nähert*, im Wesentlichen also demselben Gesetze wie der Eisenmagnetismus folgt.

In Taf. 2 sind die Nummern der Versuche zusammengestellt, die ohne Strom vorgenommen wurden, zwischen je zwei Nummern mit Strom, um zugleich eine Idee von dem bleibenden Magnetismus des Nickels zu gewinnen. Wenn man von den in der dritten Rubrik angeführten Werthen von m den unter (No. 1) stehenden Werth $= 111{,}53$ subtrahirt, so erhält man die Menge von bleibendem Magnetismus $= n$, die ein Milligramm Nickel durch die in der zweiten Rubrik stehenden Scheidekräfte annimmt. Man sieht aus der Tafel 3, dafs auch der bleibende Magnetismus sich sehr bald einem Gränzwerth nähert.

Taf. 3.

No.	X	n
3	38,05	37,31
5	195,91	85,59
7	325,92	90,64
9	420,88	92,61
11	573,62	93,92

In Fig. 10 Taf. IV ist die Abhängigkeit des Magnetismus Nickels von den auf dasselbe wirkenden magnetisirenden Kräften graphisch dargestellt. Die untere Curve bezieht sich auf den bleibenden Magnetismus.

X. Vergleichung des Magnetismus der in den vorigen §§. untersuchten Körper mit dem Eisenmagnetismus.

1.

In §. 9 ist gefunden, dafs 1 Milligramm Nickel durch eine Scheidekraft $= 4{,}278$ einen Magnetismus $= 111{,}53$ annimmt. Da man bei so schwachen Kräften ohne merkliche Fehler annehmen kann, dafs der Magnetismus proportional mit den magnetisirenden Kräften wachse, so ist der zur Massen- und Krafteinheit reducirte Magnetismus des Nickels

$$\mu = 26{,}0706.$$

In der oben citirten Abhandlung [1]) S. 573 giebt Hr. Prof. Weber folgenden Ausdruck für den Magnetismus (m) eines Milligrammms Eisen:

1) Elektrodynamische Maafsbestimmungen, insbesondere Diamagnetismus. Poggendorff's Annal. Bd. CIV.

$$m = \frac{y}{1 + 4\pi S \varrho \frac{y}{X}},$$

wo

$$y = \tfrac{2}{3} n v \frac{X}{D} \ldots \text{(wenn } X < D\text{)}$$

$$y = n v \left(1 - \tfrac{1}{3} \frac{D^2}{X^2}\right) \ldots \text{(} \text{»} \quad X > D\text{),}$$

wenn X die Scheidekraft bezeichnet, ϱ die Dichtigkeit des Eisens $= 7{,}78$, S ein von der Form des Eisens abhängiger Factor, und endlich nv und D zwei für das Eisen eigenthümliche Constanten, resp. gleich 2324,68 und 276,39.

Für einen cylindrischen Stab von denselben Dimensionen wie der hier angewandte kleine Nickelstab findet man (wenn man für die cylindrische Form eine möglichst nahe kommende ellipsoïdische substituirt)

$$S = 0{,}000041153 = \frac{1}{24299}\ ^{1}).$$

1) Den Factor S findet man nach Neumann für ein Rotationsellipsoïd nach folgender Formel: (s. die oben citirte Abhandlung S. 554, und Neumann, »*Bestimmung des magnetischen Zustandes eines Rotationsellipsoides, welches durch vertheilende Kräfte erregt ist*«; in Crelle's Journal für die reine und angewandte Mathematik Bd. 37, S. 21).

$$S = \sigma(\sigma^2 - 1)\left[\tfrac{1}{2} \log \text{nat} \frac{\sigma + 1}{\sigma - 1} - \frac{1}{\sigma}\right]$$

$$\text{wo } \sigma = \sqrt{1 - \frac{r^2}{\lambda^2}} \text{ ist,}$$

wenn r und $\sqrt{r^2 - \lambda^2}$ die Axen des Ellipsoïds bezeichnen. In obenstehender Berechnung ist nun für einen Cylinder ein Rotationsellipsoïd substituirt, das jenem so nahe wie möglich kommt, d. i. ein Rotationsellipsoïd von demselben Volum wie der Cylinder, und dessen grofse Axe gleich der Länge des Stabes ist.

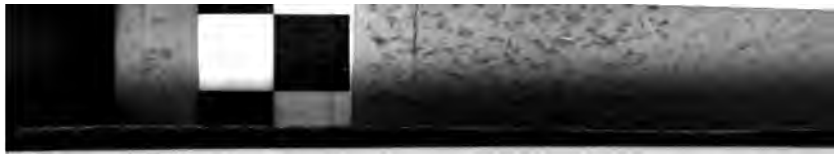
Da nun das Volum eines Ellipsoïds

$$v = \tfrac{4}{3} \pi b^2 a,$$

wenn a und b die beiden Halbaxen bezeichnen, so findet man die entsprechende kleine Halbaxe

$$b = \sqrt{\frac{v}{\frac{4}{3}\pi a}},$$

wenn man für v das Volum des untersuchten Stabes, und für a die halbe Länge desselben einsetzt.



Setzt man ferner $X = 1$, so erhält man den Magnetismus des Eisens (unter denselben Verhältnissen wie beim Nickelstab)

$$\mu = 5{,}48355.$$

Man sieht hieraus das unerwartete Resultat, *dafs das Nickel bei sehr schwachen magnetisirenden Kräften einen beinahe 5 Mal stärkeren Magnetismus anninmt, wie das durch dieselben Kräfte magnetisirte Eisen.*

Dieses Verhältnifs ändert sich indessen sehr bald bei zunehmenden magnetisirenden Kräften, indem dann bekanntlich das Eisen viel stärker magnetisch wird. Nach obenstehender Tafel (1) ist bei einer Scheidekraft $= 574$ der Magnetismus des Nickels $= m = 444{,}25$, während man unter gleichem Verhältnisse für Eisen $m = 2100$ findet.

2.

Oben ist ferner gefunden:

für Eisenvitriol $\mu = 0{,}0000693$,
für Eisenchlorid $\mu = 0{,}0000848$.

Unter der Voraussetzung dafs der Magnetismus dieser Substanzen unabhängig von der Form sey, können diese Gröfsen unmittelbar mit dem Gränzwerth des Eisenmagnetismus

$= 5{,}6074$ (Prof. Weber)

verglichen werden.

Es ergiebt sich dann: der Magnetismus des Eisenvitriols verhält sich zum Magnetismus des Eisens wie

1 : 80915,

und der Magnetismus des Eisenchlorids zu dem des Eisens wie

1 : 66125.

Göttingen den 15. März 1858.

V. *Ueber die Spannung des Dampfes von Mischungen aus Wasser und Schwefelsäure; von G. Kirchhoff.*

In meiner Abhandlung »über einen Satz der mechanischen Wärmetheorie und einige Anwendungen desselben« habe ich eine Relation hergeleitet zwischen der Spannung des Dampfes einer wässrigen Salzlösung und der Wärmemenge, die bei der Bildung der Lösung frei wird oder verschwindet [1]). Es ist von selbst klar, dafs die dort durchgeführten Betrachtungen ebenso, wie für eine Salzlösung, für jede Flüssigkeit gelten, deren Dampf reiner Wasserdampf ist. Ueber die Spannung des Wasserdampfes, der sich über Mischungen von Wasser und Schwefelsäure bildet, hat Regnault Versuche angestellt und die Wärmemengen, welche bei der Mischung von Wasser und Schwefelsäure frei werden, sind von vielen Experimentatoren gemessen. Es läfst sich daher hier die Theorie mit der Erfahrung vergleichen. Ich habe diese Vergleichung angestellt und will die Resultate derselben im Folgenden mittheilen.

Regnault hat für 9 Mischungen von Schwefelsäure und Wasser die Dampfspannungen gemessen, nämlich für die Flüssigkeiten [2]):

$$SO^3 + 2HO,\ SO^3 + 3HO,\ SO^3 + 4HO,$$
$$SO^3 + 5HO,\ SO^3 + 6HO,\ SO^3 + 8HO,$$
$$SO^3 + 10HO,\ SO^3 + 12HO,\ SO^3 + 18HO.$$

Die Werthe der bei verschiedenen Temperaturen für eine jede Mischung beobachteten Spannung hat er graphisch dargestellt, von der so gewonnenen Curve drei gleich weit abstehende Ordinaten gemessen und aus diesen eine, drei Constanten enthaltende, Interpolationsformel berechnet. Die Werthe der Spannung, auf die die Interpolationsformeln gegründet sind, und die für genauer als die einzelnen Beob-

1) Pogg. Ann. Bd. 103, S. 202.

2) *Ann. et chim. et de phys.* 3me *sér. t.* 15, *p.* 173.

achtungen gehalten werden müssen, sind in der folgenden Zusammenstellung angegeben, in der μ die Spannung des Dampfes über der Mischung $SO^3+(1+x)HO$ bei der Temperatur t bedeutet; die Temperatur ist nach den Graden der hunderttheiligen Scale gerechnet, als Einheit des Druckes ist der Druck einer Quecksilbersäule von 1^{mm} Höhe angenommen.

$x=1$		$x=2$		$x=3$	
t	μ	t	μ	t	μ
8	0,110	7	0,43	11	1,28
30	0,225	26	1,19	29	3,83
52	0,600	45	3,53	47	10,81

t	μ	t	μ	t	μ
$x=4$		$x=5$		$x=7$	
7	1,51	11	3,24	4	2,95
24	4,82	23	6,98	19	7,98
41	13,67	35	14,40	34	19,85

$x=9$		$x=11$		$x=17$	
t	μ	t	μ	t	μ
5	4,12	10	6,42	7	6,30
20	10,83	21	13,09	18	12,82
35	56,15	32	24,80	29	24,65

In Betreff der bei der Mischung von Wasser und Schwefelsäure stattfindenden Wärmeentwickelung werde ich eine Formel benutzen, die Thomsen aufgestellt hat, und die mit seinen eigenen Versuchen, so wie mit denen von Favre und Silbermann und von Abria sehr nahe übereinstimmt. Bezeichnet Q die Wärmemenge, die bei der Mischung von x Aequivalenten Wasser mit einem Aequivalent SO^3+HO frei wird, so ist nach Thomsen [1]):

$$Q=\frac{x}{x+1{,}7446}\,177{,}1,$$

wenn Einheit der Wärmemenge die Wärmemenge ist, die es erfordert um 1° C. eine Wassermasse zu erwärmen, de-

1) Pogg. Ann. Bd. 90, S. 278.

ren Gewicht gleich dem Gewichte eines Aequivalentes $SO^3 + HO$ ist.

Diese Formel ist nur für ganze Werthe von x experimentell bestätigt; um bei dem vorgesetzten Zwecke nützen zu können, mufs sie auch für gebrochene Werthe von x als gültig betrachtet werden. Sie kann ferner nur für *eine* Temperatur strenge richtig seyn; es liegen nicht die nöthigen experimentellen Data vor, um die Aenderungen berücksichtigen zu können, die die Wärmemenge Q erfährt, wenn die Temperatur sich ändert; aber aus einigen Messungen von Person läfst sich schliefsen, dafs diese Aenderungen nur klein sind. Ist nämlich Q die Wärmemenge, die frei wird, wenn die Massen m und m_1 zweier Flüssigkeiten bei der Temperatur t gemischt werden, und die Mischung auf dieselbe Temperatur abgekühlt wird, sind ferner c und c_1 die specifischen Wärmen der beiden Flüssigkeiten, C die der Mischung, so ist nach dem ersten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = mc + m_1 c_1 - (m + m_1)\, C.$$

Ist die erste Flüssigkeit Wasser, die zweite $SO^3 + HO$, und ist weiter $m_1 = 1$, $m = \frac{9}{49}\, x$, so hat jetzt Q dieselbe Bedeutung, in der es früher gebraucht ist. Nach Versuchen von Person [1]) ist dann:

$$c_1 = 0{,}3295$$

und für $m = 0{,}3158$ $C = 0{,}4534$

für $m = 0{,}9608$ $C = 0{,}5851$.

Setzt man noch $c = 1$, so ergiebt sich hieraus für diese beiden Werthe von m:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = 0{,}0486$$

und

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = 0{,}142,$$

1) *Ann. de chim. et de ph.* 3me *ser. t.* 33, *p.* 446. Durch einen Druckfehler ist hier die spec. Wärme von $SO^3 + HO$ 0,3095 statt 0,3295 angegeben.

während aus der Formel von Thomsen für dieselben Werthe von m folgt:

$$Q = 87{,}88$$

und

$$Q = 132{,}8.$$

Es sind hiernach die Aenderungen, welche Q erleidet, wenn die Temperatur sich ändert, verhältnifsmäfsig so klein, dafs bei ihrer Vernachlässigung bedeutende Fehler nicht zu fürchten sind.

Läfst man den schon gebrauchten Zeichen ihre Bedeutung und nennt man ferner

π_1 die Spannung des Dampfes von reinem Wasser bei der Temperatur t,

k das mechanische Aequivalent der Wärmeeinheit,

a die Temperatur des absoluten Nullpunktes,

$\frac{R(a+t)}{p}$ das Volumen der Masseneinheit Wasserdampf bei einer Temperatur t und einem Drucke p, die so gewählt sind, dafs bei ihnen der Dampf sich schon wie ein vollkommnes Gas verhält;

so ist nach einer am angeführten Orte von mir abgeleiteten Gleichung:

$$\frac{\partial}{\partial t} \lg \frac{\mu}{\pi_1} = \frac{k}{R} \frac{1}{(a+t)^2} \frac{\partial Q}{\partial m}.$$

Nun ist

$$\frac{\partial Q}{\partial m} = \frac{49}{9} \frac{\partial Q}{\partial x}$$

und nach der Gleichung von Thomsen

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{1{,}7446 \cdot 177{,}1}{(x+1{,}7446)^2},$$

woraus folgende Zahlenwerthe von $\frac{\partial Q}{\partial x}$ sich ergeben:

x	$\frac{\partial Q}{\partial x}$	x	$\frac{\partial Q}{\partial x}$	x	$\frac{\partial Q}{\partial x}$
1	41,00	4	9,36	9	2,68
2	22,02	5	6,79	11	1,90
3	13,72	7	4,04	17	0,88

Ferner hat man:

$$\frac{k}{R} = \frac{0{,}622}{0{,}0691} = 9{,}001,$$
$$a = 273.$$

Daraus folgt:

$$\frac{\partial}{\partial t} \lg \frac{\mu}{\pi_1} = 49{,}01 \frac{1}{(273+t)^2} \frac{\partial Q}{\partial x},$$

oder, wenn man statt des natürlichen Logarithmus lg den Briggs'schen Lg einführt:

$$\frac{\partial}{\partial t} \mathrm{Lg} \frac{\mu}{\pi_1} = 21{,}28 \frac{1}{(273+t)^2} \frac{\partial Q}{\partial x},$$

oder endlich, wenn man integrirt:

$$\mathrm{Lg} \frac{\mu}{\pi_1} = C - \frac{21{,}28}{(273+t)} \frac{\partial Q}{\partial x} \quad \ldots \quad (1),$$

wo C eine von t unabhängige Gröfse bezeichnet.

Kennt man C, so kann man hiernach mit Benutzung der bekannten Werthe von π_1 die Spannung μ für alle Temperaturen berechnen. Ich habe nun nach der Gleichung 1) für eine jede der von Regnault untersuchten Schwefelsäuren C berechnet aus der gröfsten der (Seite 613) angegebenen Spannungen und dann nach derselben Gleichung μ für diejenigen Temperaturen ermittelt, bei welchen Regnault beobachtet hat. Ich lasse weiter unten die Differenzen, die sich so gezeigt haben, folgen.

Die Ableitung der Gleichung 1) beruht auf der Voraussetzung, dafs der Wasserdampf nicht allein über der Salzlösung, sondern auch über reinem Wasser sich wie ein vollkommnes Gas verhält. Ich habe an dem angeführten Orte eine zweite Gleichung aufgestellt, deren Richtigkeit nur erfordert, dafs der mit der Salzlösung in Berührung befindliche Wasserdampf die Eigenschaften eines vollkommnen Gases hat. Sieht man von der Verschiedenheit der specifischen Wärme des tropfbaren Wassers bei verschiedenen Temperaturen ab und setzt diese specifische Wärme $= 1$, so ist diese Gleichung:

$$\frac{\partial}{\partial t} \lg \frac{\mu}{a+t} = \frac{k}{R} \frac{1}{(a+t)^2} \left(\frac{\partial Q}{\partial m} - \frac{K}{k} - (1-\gamma)\, t \right),$$

wo γ die specifische Wärme des Wasserdampfs bei constantem Volumen und sehr grofser Verdünnung ist, K die Wirkungsgröfse für den Uebergang der Masseneinheit Wasser von 0° in Dampf von derselben Temperatnr und sehr grofser Verdünnung bezeichnet. Nimnt man an, dafs $\frac{\partial Q}{\partial m}$ von der Temperatur unabhängig ist, so läfst sich die Gleichung leicht integriren; das Integral ist:

$$\lg \mu = -\frac{k}{R}\left(\frac{\partial Q}{\partial m} - \frac{K}{k} + a(1-\gamma)\right)\frac{1}{a+t} - \frac{k}{R}\left(1-\gamma-\frac{B}{k}\right)\lg(a+t) + \text{Const.}$$

oder

$$\mathrm{Lg}\,\mu = C - A\,\mathrm{Lg}(a+t) - \frac{B}{a+t} \quad \ldots \quad (2),$$

wo das Zeichen Lg, wie oben, den Briggs'schen Logarithmus bedeutet, C eine von t unabhängige Gröfse und

$$A = \frac{k}{R}\left(1-(\gamma+\frac{R}{k})\right)$$

$$B = \frac{k}{R}\left(\frac{\partial Q}{\partial m} - \frac{K}{k} + a(1-\gamma)\right)\ 0{,}43429$$

ist.

Die Summe $\gamma + \frac{R}{k}$ ist die specifische Wärme des hinreichend verdünnten Wasserdampfs bei constantem Druck; nimmt man diese den Regnault'schen Versuchen gemäfs $= 0{,}475$ an, und setzt für $\frac{k}{R}$ den oben angegebenen Zahlenwerth, so wird die Gleichung für A:

$$A = 4{,}726.$$

Die Gleichung für B läfst sich schreiben, wenn man in ihr für m die schon oben gebrauchte Gröfse x einführt und $a = 273$ setzt:

$$B = D + 21{,}28\,\frac{\partial Q}{\partial x},$$

wo

$$D = -3{,}909\,\frac{K}{k} + 678{,}9.$$

Aus der Gleichung (2) kann man mit Hinzuziehung dieser Werthe von A und B ebenso wie aus der Gleichung (1)

für jede der von Regnault untersuchten Schwefelsäuren die Dampfspannung für alle Temperaturen berechnen, wenn sie für *eine* als bekannt angenommen wird, falls man den Werth von D (oder den von $\frac{K}{k}$) kennt. Nimmt man für eine Schwefelsäure die Spannung bei zwei Temperaturen als bekannt an, so kann man aus derselben Gleichung D ermitteln. Ich habe auf solche Weise D berechnet aus den beiden gröfsesten der (Seite 613) für jede der 9 Schwefelsäuren angegebenen Dampfspannungen, und aus den 9 so erhaltenen Werthen das Mittel genommen, nachdem ich ihnen die Gewichte zugetheilt habe, die ihnen zukommen, wenn man gleich grofse Fehler in den Werthen von μ bei den verschiedenen Säuren als gleich wahrscheinlich voraussetzt. Es ergab sich so

$$D = 2859.$$

Mit Hülfe dieses Werthes von D habe ich auch nach der Gleichung (2) aus der gröfsten der Seite 613 angegebenen Spannungen für jede der 9 Schwefelsäuren die Spannungen für alle Temperaturen, bei denen Regnault beobachtet hat, berechnet.

In der folgenden Tafel sind diese Temperaturen in der ersten Columne aufgeführt, in der zweiten die beobachteten Spannungen, in der dritten die nach Gleichung (1), in der fünften die nach Gleichung (2) berechneten Werthe derselben, in der vierten und sechsten die Differenzen der beobachteten und berechneten Werthe.

$SO^3 + 2HO$.

Temp.	beob.	nach Gl. 1.	Diff.	nach Gl. 2.	Diff.
8,48	0,11	0,02	+ 0,09	0,02	+ 0,09
16,83	0,16	0,04	+ 0,12	0,04	+ 0,12
25,09	0,17	0,08	+ 0,09	0,08	+ 0,09
33,51	0,26	0,16	+ 0,10	0,16	+ 0,10
41,90	0,35	0,29	+ 0,06	0,30	+ 0,05
52,39	0,68	0,62	+ 0,06	0,62	+ 0,06

$SO^3 + 3HO$.

Temp.	beob.	nach Gl. 1.	Diff.	nach Gl. 2.	Diff.
7,00	0,43	0,23	+ 0,20	0,24	+ 0,19
9,75	0,47	0,29	+ 0,18	0,31	+ 0,16
14,22	0,61	0,42	+ 0,19	0,43	+ 0,18
18,58	0,80	0,58	+ 0,22	0,60	+ 0,20
24,39	1,09	0,89	+ 0,20	0,91	+ 0,18
28,74	1,38	1,21	+ 0,17	1,24	+ 0,14
33,67	1,82	1,69	+ 0,13	1,72	+ 0,10
38,81	2,48	2,38	+ 0,10	2,40	+ 0,08
44,97	3,52	3,52	0,00	3,52	0,00

$SO_3 + 4HO$.

8,03	1,09	0,82	+ 0,27	0,86	+ 0,23
11,73	1,32	1,08	+ 0,24	1,13	+ 0,19
15,77	1,73	1,45	+ 0,28	1,51	+ 0,22
14,62	1,60	1,34	+ 0,26	1,39	+ 0,21
18,63	2,06	1,78	+ 0,28	1,85	+ 0,21
21,46	2,47	2,17	+ 0,30	2,24	+ 0,23
23,15	2,82	2,43	+ 0,39	2,51	+ 0,31
26,39	3,27	3,02	+ 0,25	3,11	+ 0,16
29,88	4,03	3,80	+ 0,23	3,89	+ 0,14
32,78	4,81	4,58	+ 0,23	4,67	+ 0,14
40,35	7,50	7,31	+ 0,19	7,38	+ 0,12
47,14	10,92	10,90	+ 0,02	10,89	+ 0,03

$SO^3 + 5HO$.

7,13	1,54	1,50	+ 0,04	1,55	— 0,01
11,01	1,99	1,98	+ 0,01	2,06	— 0,07
13,61	2,39	2,38	+ 0,01	2,47	— 0,08
16,94	3,05	3,00	+ 0,05	3,10	— 0,05
19,66	3,66	3,61	+ 0,05	3,72	— 0,06
22,91	4,50	4,49	+ 0,01	4,59	— 0,09
26,75	5,74	5,75	— 0,01	5,86	— 0,12
29,82	6,97	6,99	— 0,02	7,10	— 0,13
32,68	8,37	8,34	+ 0,03	8,42	— 0,05
35,73	10,06	10,02	+ 0,04	10,09	— 0,03
41,12	13,77	13,76	+ 0,01	13,77	0,00

$SO^3 + 6HO$.

Temp.	beob.	nach Gl. 1.	Diff.	nach Gl. 2.	Diff.
10,70	3,20	3,01	+ 0,19	3,11	+ 0,09
12,53	3,58	3,43	+ 0,15	3,53	+ 0,05
15,94	4,48	4,33	+ 0,15	4,43	+ 0,05
21,38	6,35	6,20	+ 0,15	6,32	+ 0,03
24,59	7,72	7,62	+ 0,10	7,73	— 0,01
28,39	9,69	9,67	+ 0,02	9,82	— 0,13
31,49	11,64	11,68	— 0,04	11,74	— 0,10
35,35	14,65	14,70	— 0,05	14,69	— 0,04
14,13	4,03	3,82	+ 0,21	3,93	+ 0,10
19,13	5,49	5,35	+ 0,14	5,47	+ 0,02

$SO^3 + 8HO$.

4,00	2,95	2,85	+ 0,10	2,95	0,00
7,84	3,82	3,75	+ 0,07	3,86	— 0,01
11,36	4,86	4,78	+ 0,08	4,91	— 0,05
15,05	6,17	6,13	+ 0,04	6,27	— 0,10
18,24	7,60	7,55	+ 0,05	7,71	— 0,11
23,23	10,42	10,39	+ 0,03	10,52	— 0,10
19,32	8,17	8,10	+ 0,07	8,25	— 0,08
25,60	12,09	12,02	+ 0,07	12,15	— 0,06
30,57	16,24	16,23	+ 0,01	16,31	— 0,07
35,38	21,55	21,49	+ 0,06	21,42	+ 0,13

$SO^3 + 10HO$.

9,07	5,35	5,18	+ 0,17	5,35	0,00
13,56	7,21	7,01	+ 0,20	7,20	+ 0,01
17,06	9,00	8,81	+ 0,19	9,02	— 0,02
20,15	10,92	10,74	+ 0,18	10,95	— 0,03
23,16	13,20	12,96	+ 0,24	13,17	+ 0,03
26,95	16,12	16,33	+ 0,09	16,51	— 0,09
31,04	20,87	20,81	+ 0,06	20,94	— 0,07
35,74	27,30	27,27	+ 0,03	27,26	+ 0,04
4,85	4,06	3,86	+ 0,20	4,00	+ 0,06

$SO^3 + 12HO$.

Temp.	beob.	nach Gl. 1.	Diff.	nach Gl. 2.	Diff.
6,62	5,12	4,98	+ 0,14	5,13	— 0,01
10,05	6,46	6,30	+ 0,16	6,47	— 0,01
12,95	7,85	7,65	+ 0,20	7,83	+ 0,02
16,75	9,99	9,80	+ 0,19	9,99	0,00
19,79	12,15	11,90	+ 0,25	12,07	+ 0,08
18,66	11,36	11,08	+ 0,28	11,26	+ 0,10
22,31	14,17	13,91	+ 0,26	14,09	+ 0,08
23,76	15,53	15,22	+ 0,31	15,38	+ 0,15
27,68	19,47	19,27	+ 0,20	19,37	+ 0,10
32,17	25,04	25,05	— 0,01	25,05	— 0,01

$SO^3 + 18HO$.

5,79	5,80	5,64	+ 0,16	5,79	+ 0,01
8,43	6,95	6,76	+ 0,19	6,92	+ 0,03
12,39	8,96	8,80	+ 0,16	8,98	— 0,02
16,01	11,28	11,14	+ 0,14	11,32	— 0,04
17,02	12,05	11,88	+ 0,17	12,06	— 0,01
20,99	15,37	15,24	+ 0,13	15,40	— 0,03
25,59	20,27	20,15	+ 0,12	20,24	+ 0,03
28,94	24,62	24,57	+ 0,05	24,57	+ 0,05

Wie es erwartet werden konnte, ist die Uebereinstimmung der beobachteten Spannungen mit den nach Gleichung (2) berechneten gröfser als mit den nach Gleichung (1) berechneten. Es müfsten die beiden letzteren vollständig übereinstimmen, wenn der mit reinem Wasser in Berührung befindliche Wasserdampf als ein vollkommnes Gas betrachtet werden dürfte, in welchem Falle die Gleichung (2) auch für diesen Dampf gelten müfste, wenn man in ihr B durch D ersetzt.

VI. *Ueber einen neuen Gesichtspunkt, die Einwirkung des Magneten auf den elektrischen Strom betreffend; von Plücker.*

(Siehe Ann. Bd. CIII, S. 88 und 151; Bd. CIV, S. 113.)

76. Die kreisende Bewegung eines Magnetpols um den Leitungsdraht und eines Leitungsdrahtes um den Magnetpol sind Bewegungserscheinungen, welche, als sie von Hrn. Faraday zuerst beobachtet wurden, die Aufmerksamkeit um so mehr in Anspruch nahmen, als sie bis dahin ohne Analogie waren. Indem Laplace und Biot auf die Wirkung zwischen dem Pole und einem einzelnen Elemente des linearen Stromleiters zurückgingen, erhielten sie eine Elementarkraft, die dem Quadrate der Entfernung zwischen dem Pole und dem Strom-Elemente umgekehrt proportional ist, und deren Richtung zugleich auf der Richtung des Strom-Elementes und derjenigen geraden Linie, welche dasselbe mit dem Pole verbindet, senkrecht steht. Diese Kraft, welche sowohl nach einer Commutation der magnetischen Polarität als auch nach einer Commutation der Stromrichtung in entgegengesetztem Sinne wirkt, würde das Strom-Element, wenn es frei beweglich wäre, parallel mit sich selbst in einem Kreise um diejenige Linie herumführen, die, parallel mit dem Elemente, durch den Pol gelegt wird.

Wenn wir an der Stelle des als Punkt gedachten Poles, der immer nur eine mathematische Fiction bleibt, einen Magneten von beliebiger Gestalt setzen, so tritt, in der Bestimmung der Richtung der Kraft, an die Stelle der durch den Pol gehenden geraden Linie diejenige magnetische Curve, welche dadurch, dafs sie durch das Strom-Element geht, vollkommen bestimmt ist. Es ist weder eine Kraft vorhanden, welche die Richtung des Strom-Elementes ändert, noch eine Kraft, welche dasselbe, der magnetischen Curve entlang nach einer Stelle gröfserer magnetischer Wirkung hintreibt.

77. Das Vorstehende giebt, unter der Form eines Integrals den Ausdruck für die Total-Wirkung eines Magneten auf einen Strom, dessen Träger ein linearer Leiter von beliebiger Form ist. Nur ist hierbei bisher immer vorausgesetzt worden, dafs diese Form unverändert dieselbe bleibe. Es ist ein neuer Gesichtspunkt, wenn wir den Leiter als *vollkommen biegsam* betrachten und dann nach der Form fragen, die ein solcher Leiter, als Träger des Stromes, unter der Einwirkung eines Magneten annimmt. Hier ergeben sich aus den einfachsten mechanischen Principien die folgenden Gesetze.

78. I. *Wenn auf einen vollkommen biegsamen Leiter, durch welchen ein elektrischer Strom geht, beliebige magnetische Kräfte wirken, so kann Gleichgewicht nur dann bestehen, wenn jedes Element des Leiters so gerichtet ist, dafs die magnetische Wirkung auf dasselbe verschwindet, das heifst, wenn der Leiter die Form einer magnetischen Curve annimmt.*

Wenn diese Bedingung nicht erfüllt werden *kann*, so mufs der Leiter, wenn seine kleinsten Theile nicht durch Cohäsion oder durch andere Kräfte zusammengehalten werden, in Folge der magnetischen Einwirkung nothwendig zerrissen werden. Nichts ändert sich, wenn wir in den vorstehenden Betrachtungen an die Stelle des vollkommen biegsamen Stromträgers einen elektrischen Strom selbst setzen, der nicht an einen Leiter gebunden ist, sondern durch einen Raum, in dem ponderable Materie, die zu seiner Ueberführung dient, vertheilt ist, seinen Weg frei sich suchen kann. Ein solcher Strom wird, bevor der Magnet wirksam ist, eine mehr oder weniger wechselnde Bahn verfolgen, unter der Einwirkung desselben aber den Weg einer magnetischen Curve nehmen. Wenn er das nicht *kann*, so kann auch der Strom nicht fortbestehen, die Elektricität mufs sich verlieren ohne einen solchen eigentlichen Strom zu bilden.

79. II. *Wenn der vollkommen biegsame Leiter unter der Einwirkung des Magneten auf einer gegebenen Ober-*

fläche im Gleichgewichte seyn soll, so mufs die Richtung der auf jeden Punkt des Leiters wirkenden Kraft mit der Normalen der Oberfläche in diesem Punkte zusammenfallen.

Um diese Bedingung zu erfüllen, mufs für jeden Punkt des Leiters, aufser dem Elemente des Leiters selbst, auch das Element der durch diesen Punkt gehenden magnetischen Curve in die gegebene Oberfläche fallen, und hieraus ist wieder leicht zu entnehmen, dafs, in dem Falle des Gleichgewichtes der vollkommen biegsame Leiter *der geometrische Ort derjenigen Punkte ist, in welchen das Element der durch dieselben gehenden magnetischen Curven in die gegebene Oberfläche fällt.* Dieser geometrische Ort, der mit der Lage der gegebenen Oberfläche gegen den Magneten Form und Lage ändert, ist also der *einzige* Weg, den der Strom auf der gegebenen Oberfläche einschlagen kann, und er schlägt diesen Weg nur dann ein, wenn seine Endpunkte die wir als fest betrachten ***beide auf dem eben bestimmten geometrischen Orte liegen.*** Diesen können wir passend ***epipolisch-magnetische*** Curve nennen. Vor und nach einer Commutation, sowohl der magnetischen Polarität als auch der Stromrichtung, würde ein Strom auf derselben Strecke zwischen den beiden gegebenen Punkten einmal gegen die Oberfläche gedrückt, das andere Mal von der Oberfläche fortgezogen werden. Nur in dem ersten Falle giebt es einen eigentlichen Strom. In dem zweiten Falle, so wie in dem allgemeinen Falle, dafs die Strom-Enden *nicht* Punkte der bezeichneten Curve sind, verhindert der Magnet die Bildung eines Stromes [1]).

1) In der Absicht, die von mir zuerst beobachtete Erscheinung des in magnetischen Curven sich zusammenziehenden elektrischen Lichtes in möglichst bezeichnender Weise zu veranschaulichen, fingirte ich vollkommen biegsame unendlich dünne magnetische Fäden (47 bis 49). Es ist bemerkenswerth, dafs ein solcher Faden, wenn er in einem seiner Punkte festgehalten wird, ebenso wie ein linearer, vollkommen biegsamer, elektrischer Leiter, unter der Einwirkung des Magneten dann im Gleichgewichte sich befindet, wenn er die Form der durch den festgehaltenen Punkt bestimmten magnetischen Curve annimmt. In dem ersten Falle erkennt man sogleich die Kraft, welche dem magnetischen

80. Bei der theoretischen Discussion des Gesetzes I. treten uns drei Fälle entgegen, die wir auch in dem Experimente wiederfinden.

1. Die elektrische Entladung findet zwischen zwei gegebenen festen Punkten statt. Das ist der Fall des Davyschen Bogens zwischen Kohlenspitzen, die sich anfänglich berühren, und dann allmählich aus einander gezogen, in einer bestimmten Entfernung festgehalten werden. Ohne störende Einwirkung ist der Weg der elektrischen Entladung, in der Luft wie im luftverdünnten Raume, diejenige gerade Linie, welche die beiden Kohlenspitzen, die auch durch beliebige Metalle ersetzt werden können, verbindet. Als Träger des Stromes sind, zum Theile wenigstens, mithinübergeführte glühende Partikel, die sich in dem Spectrum kund geben, zu betrachten. In längeren Röhren, in welchen das Gas möglichst verdünnt ist, werden, wenn durch dieselben der Ruhmkorff'sche Apparat entladen wird, keine solche Partikel mehr übergeführt und das verdünnte Gas *allein* ist Träger des Stromes; denn die bezüglichen Spectra

Faden von beliebiger Form und Lage die für den Fall des Gleichgewichtes erforderliche Form und Lage giebt. In dem zweiten Falle aber ist es anders. Wenn wir zum Beispiel bewegliche geradlinige Leiter von allen möglichen Richtungen betrachten, die alle von einem gegebenen Punkte als Strahlen ausgehen und auf welche ein gegebener Pol wirkt, so können wir uns diese sämmtlichen Leiter auf Kegelflächen vertheilt denken, deren gemeinschaftliche Axe diejenige gerade Linie ist, welche den gegebenen Punkt mit dem gegebenen Pole verbindet. Alle solche Kegelflächen rotiren, in stabiler Bewegung, um ihre gemeinschaftliche Axe. Nehmen wir den Fall einer beliebigen magnetischen Einwirkung und dabei die Leiter unendlich klein, so rotiren diese alle in Kegelflächen, deren gemeinschaftliche Axe die Tangente der bezüglichen magnetischen Curve in dem gegebenen Punkte ist. Nur der, nach dieser Curve selbst gerichtete, Leiter bleibt in Ruhe, ohne dafs die andern Leiter in diese Lage getrieben würden. Die Schwierigkeit der Frage liegt darin, dafs wir uns den elektrischen Strom nicht als bereits fertig, sondern erst, als in der Bildung begriffen, denken müssen. Und wenn wir überhaupt auch über die Bildung eines Stromes keine bestimmte Anschauung haben, so wissen wir doch so viel, dafs er, unter der magnetischen Einwirkung nur nach der magnetischen Curve sich bilden kann.

charakterisiren das jedesmalige Gas, wie die Spectra des Davy'schen Bogens die Substanz der Elektroden charakteristisch nachweisen.

Unter der Einwirkung des Magneten nimmt der Davy'sche Licht-Bogen *die Form einer magnetischen Curve an, wenn die Endpunkte der beiden Elektroden gegen den Magneten eine solche Lage haben, dafs sie zwei Punkte derselben magnetischen Curve sind.* Wenn die Endpunkte der beiden Elektroden in eine andere Lage gebracht werden, wo diefs nicht mehr der Fall ist, da kann der Bogen nicht mehr fortbestehen; er mufs zerreifsen und giebt je nach der Dichtigkeit des umgebenden Gases, die Erscheinung des sprühenden und zischenden oder des wogenden Lichtes.

Die früheren hierher gehörenden Versuche so vieler ausgezeichneter Physiker liegen mir vollständig genug vor, um sie in dieser Beziehung discutiren zu können. Ich verweise daher einstweilen nur auf meine eigenen, in der dieser gegenwärtigen Abhandlung nachfolgenden neuen Mittheilung von Beobachtungen [1]). Diese sind, mit Ausnahme einiger älteren, geradezu in der Absicht, das I. Gesetz zu verificiren, angestellt worden.

81. 2) Einer der beiden Endpunkte der elektrischen Entladung ist fest und der zweite der blofsen Bedingung unterworfen, dafs er auf einer gegebenen Fläche von beliebiger Form liege. Diese Bedingungen sind vorhanden in dem merkwürdigen Verhalten desjenigen Lichtes, das ich magnetisches genannt habe, eben darum nur, weil es den Weg magnetischer Curven nimmt. Dieses Licht tritt in evacuirten Röhren an der negativen Elektrode auf und steigt von jedem Punkte derselben nach allen Richtungen bis zur Wandung der diese Elektrode umgebenden Glasröhre, die hierbei von dem übergeführten Platin mehr oder weniger geschwärzt wird. Was aus diesem elektrischen Lichte wird, nachdem es die Wandung getroffen, ist eine Frage, die zu erörtern hier nicht die Stelle ist. Wenn die Elektrode bis auf einen einzigen Punkt isolirt ist, so ist es dieser einzige Punkt, von welchem die elektrische Entladung, deren ver-

1) Welche in Heft IX erscheinen werden. P.

schiedene Wege, Elementarströmen entsprechend, die einzelnen leuchtenden Strahlen sichtbar machen. (Für unsere Anschauung ist es gleichgültig, ob die Strahlen alle von dem festen Punkte aus oder nach demselben hin gehen.) Ein jeder solcher Elementarstrom kann, nach dem obigen Gesetze I, unter der Einwirkung des Magneten, nur dann im Gleichgewichte seyn, wenn er nach einer magnetischen Curve gebogen ist, und diese ist hier für alle Elementarströme dieselbe Curve, und dadurch vollkommen bestimmt, dafs sie durch den gegebenen festen Punkt geht. Das ganze von dem nicht isolirten Punkt ausgehende Licht zieht sich also in der, durch denselben gehenden, magnetischen Curve, die dadurch hell erleuchtet wird, zusammen. Der ganzen Reihe continuirlicher, elektrisches Licht ausstrahlender, Punkte der *nicht* isolirten negativen Elektrode entspricht eine continuirliche, aus magnetischen Curven gebildete, Lichtfläche.

Da die magnetischen Curven dieselben bleiben, wenn wir die magnetische Polarität commutiren, so stellt sich nach einer solchen Commutation genau die frühere Erscheinung wieder her.

Die schönen, von mir zuerst beobachteten und in dies. Ann. (Bd. CIII, S. 97 bis 106 und Bd. CIV, S. 113 bis 118) beschriebenen, Erscheinungen, zu denen ähnliche, später von mir auch an der positiven Elektrode beobachtete, noch hinzukommen, sind hiermit also vollkommen erklärt.

82. 3) Die Entladung findet zwischen zwei gegebenen Flächen oder verschiedenen Theilen derselben gegebenen Fläche statt, so dafs die elementaren Entladungsströme auf diesen Flächen, innerhalb gewisser Gränzen sich ihren Anfangs- und Ausgangspunkt suchen können. Auch in diesem Falle war das Experiment der Theorie vorausgegangen. Die erste desfallsige Beobachtung machte ich an einem evacuirten Ellipsoïde, das den mittleren Theil einer Geifsler'schen Röhre (63) bildete. Wenn es in aequatorialer Lage an die genäherten Halbanker angestofsen wurde, bildete sich im Innern desselben, fern von den beiden Elektroden,

ein gewölbeförmiger Bogen, der aus erleuchteten magnetischen Curven bestand. Nachdem die Aufmerksamkeit des Auges einmal auf diese Erscheinungen gerichtet war, nahm es sie auch unter anderen, sehr verschiedenen, Verhältnissen wahr.

83. Es bleibt nur noch übrig einige vorläufige Andeutungen über die Anwendung des Gesetzes II zu machen, welches den einzig möglichen Weg, den die elektrische Entladung unter der Einwirkung des Magneten auf der innern Wandung einer Glasröhre einschlagen kann, die epipolisch-magnetische Curve bestimmt. Nehmen wir beispielsweise an, die innere Wandung habe die Form eines dreiaxigen Ellipsoïds und dieses liege mit seinem Mittelpunkte so oberhalb der Mitte zwischen den beiden horizontalen Halbankern, dafs eine seiner drei Axen senkrecht ist, so gehört die Durchschnitts-Ellipse in demjenigen Hauptschnitte derselben, der in die Aequatorial-Ebene fällt, offenbar der fraglichen Curve an; denn jede magnetische Curve, welche von einem der beiden Halbanker zum andern führt, schneidet die Aequatorial-Ebene unter rechtem Winkel, so dafs die Elemente derjenigen dieser Curven, die jene Ellipse schneiden, innerhalb der Oberfläche des Ellipsoïds liegen. Ein regelmäfsiger Strom ist nur dann möglich, wenn er in einem Punkte der Ellipse in das Ellipsoïd hinein, in einem andern Punkte der Ellipse herausgeleitet wird. Dieser Strom beschreibt alsdann, auf der Ellipse, den einen oder den andern Weg zwischen den beiden Punkten, je nachdem er die eine oder die andere Richtung hat. (Vergl. den Versuch der 11. Nummer.) Es ist eine secundäre Wirkung (die bei gröfserer magnetischer Einwirkung immer stärker und sehr verschieden stark bei verschiedenem Inhalte der Röhren hervortritt), dafs der nach dem Magneten hingezogene Strom in wogendes Licht sich auflöst. Diese Erscheinung ist dadurch bedingt, dafs die dem dritten Falle des Gesetzes I. entsprechende Wirkung hinzutritt (82) und dadurch verschwindet das Unerklärliche (15). Wenn der Strom *in irgend* zwei Punkten, die nicht beide Punkte der frag-

lichen Ellipse sind, oder, was dasselbe heifst, die nicht beide in der Aequatorial-Ebene sich befinden, ein- und ausgeleitet wird, so bildet, im Allgemeinen, sich kein Strom; nur in dem singulären Falle, dafs beide Punkte derselben magnetischen Curve angehören und der Bogen dieser Curve zwischen diesen Punkten ganz innerhalb des Ellipsoïds fällt, tritt der erste Fall des Gesetzes I unmittelbar ein.

84. Ein zweites einfaches Beispiel bietet der Fall einer weitern cylindrischen Röhre, die 45° gegen die Aequatorialebene geneigt horizontal auf die Halbanker aufgelegt wird. Dann besteht die epipolisch-magnetische Curve in ihrer Mitte aus zwei abgesonderten Spiralen, die, einzeln genommen, durch Ströme von entgegengesetzter Richtung hell erleuchtet werden.

85. Sehr schön, wenn auch nicht in demselben Glanze als bei der direkten Entladung, lassen sich die obigen Gesetze durch inducirte Ströme zur Anschauung bringen. Ich nahm zu diesem Ende, um nur ein Beispiel hier schon anzuführen, eine blofse Glaskugel von etwa 80^{mm} Durchmesser, ohne Elektroden, in der nach der Evacuirung nur noch blofse Spuren eines Gases zurückgeblieben waren. Wenn die äufsere Wandung dieser Kugel mit *einer* Elektrode des Ruhmkorff'schen Inductions-Apparates in irgend einem Punkte berührt wird, so verbreitet sich durch die ganze Kugel von dem der berührten Stelle entsprechenden Punkte der innern Glaswand aus, ein diffuses Licht von der dem Gase eigenthümlichen Farbe. Dieses Licht zieht sich, wenn die Kugel auf die Mitte der einander genäherten Halbanker der Elektromagneten gelegt wird, nach derjenigen magnetischen Curve, welche durch den eben bestimmten Punkt geht, zu einem einzigen Lichtbogen zusammen. Auf dem Wege dieses Bogens findet eine doppelte elektrische Strömung, von entgegengesetzter Richtung, statt. Ist die berührende Elektrode die negative, so geht von der Berührungsstelle ein stärkerer positiver Strom aus; ein schwächerer kehrt auf demselben Wege zu ihr zurück. Ist die Elektrode die positive, so vertauschen die beide Ströme ihre

gegenseitige Stärke; der nach der Berührungsstelle hingehende positive Strom ist der stärkere. Wenn man die Kugel in beliebigen Punkten mit *beiden* Elektroden zugleich berührt, so treten die beiden Lichtbogen, wie sie den einzelnen Elektroden entsprechen, ohne einander sichtbar zu stören, anscheinend ganz unabhängig von einander, gleichzeitig hervor. Nur wenn die beiden Elektroden die Kugel in zwei Punkten derselben magnetischen Curve berühren, vereinigen sich die beiden Lichtbogen in einen einzigen.

86. Wenn wir den Endpunkt einer Elektrode auf der Oberfläche der Kugel fortführen, so ändert der Lichtbogen fortwährend Form und Lage. Die Länge des Bogens vermindert sich, wenn wir uns hierbei der epipolisch-magnetischen Curve annähern. Von einem Punkte dieser Curve aus geht keine magnetische Curve ins Innere der Kugel hinein. Wird ein solcher Punkt selbst von der Elektrode berührt, so bleibt das Licht auf der innern Fläche der Kugel, indem es sich zu zwei Strömen von ungleicher Stärke concentrirt, die, von der Berührungsstelle aus, auf der epipolischen Curve nach entgegengesetzter Richtung sich hinziehen. Diese Curve ist im vorliegenden Falle der in der Aequatorial-Ebene liegende, gröfste Kugelkreis, der durch unendlich viele magnetische Curven auf der Kugelfläche rechtwinklich geschnitten wird. Neben diesem doppelten epipolischen Lichtstrome besteht ungestört der freie Lichtbogen im Innern der Kugel fort, welcher der gleichzeitig berührenden zweiten Elektrode entspricht. Nur wenn beide Elektroden die Kugel in Punkten der epipolisch-magnetischen Curve berühren, vereinigen sich zwei epipolische Doppelströme in einen einzigen Doppelstrom, der die Lichtintensität der beiden früheren in sich vereinigt [1])

Bonn den 15. Juli 1858.

1) Eine neue Reihe von mannigfaltigen Beobachtungen, auf die ich mich zum Theil schon bezogen habe, wird in Heft IX nachfolgen. Eine solche war bereits für den Druck zusammengestellt, als die neuen Gesichtspunkte, die ich in der gegenwärtigen Abhandlung entwickelt habe, über mannigfaltige von mir zuerst beobachtete Erscheinungen plötzlich ein volles Licht verbreiteten. Dadurch wird eine neue Redaction eines Theiles der frühern Zusammenstellung nothwendig.

VII. *Ueber die Wettersäule, welche am 10. Juni 1858 oberhalb Königswinter zwei Mal über den Rhein ging. Von Dr. Gerhard vom Rath.*

Das in unseren Gegenden seltene Phänomen, dessen Beschreibung soweit eigene Beobachtung und Nachrichten Anderer reichen, hier versucht werden soll, stand in unbezweifeltem Zusammenhang mit dem eigenthümlichen Zustand der Atmosphäre, welcher die Tage vor dem Ereignisse ausgezeichnet hatte. Nicht überflüssig erscheint es daher in folgender Uebersicht für die Tage vom 1. bis zum 10. Juni mitzutheilen: das Minimum und das Maximum der Temperatur, den Stand des Barometers (192,9 par. F. üb. d. Nordsee) um 1 Uhr N. M. nebst der gleichzeitig beobachteten Temperatur, für Bonn, nach dem mir gütigst mitgetheilten meteorologischen Tagebuche des Hrn. Prof. Argelander.

Juni	Minimum der Temperatur	Maximum der Temperatur	Barometer 1 U. N. M.	Thermom 1 U. N. M.
1	8,75	23,9	28 Zoll 1,89 Lin.	22,35
2	12,05	22,2	» 1,14 »	20,93
3	10,7	24,7	» 1,07 »	23,80
4	16,1	24,6	» 1,58 »	24,16
5	12,2	26,6	» 1,41 »	26,10
6	14,9	25,2	» 1,02 »	24,73
7	11,2	22,3	» 0,56 »	20,17
8	10,2	24,6	27 Zoll 11,49 »	24,37
9	11,2	25,4	» 11,10 »	24,73
10	13,7	20,8	28 Zoll 0,10 »	20,57

Die tägliche Barometer-Variation trat während dieser 10 Tage mit grofser Deutlichkeit hervor.

Den in der Kölnischen Zeitung veröffentlichten meteorologischen Beobachtungen sind folgende Angaben über die Windrichtung in Köln entnommen:

Juni	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Mgs. 7 U.	S	SW	S	SSW	OSO	SSO	NNW	O	OSO	NW
Mtgs. 1 U.	S	NW	S	WNW	S	SSO	NNW	OSO	OSO	NNW
Abd. 9 U.	SW	NW	SW	SO	S	OSO	NW	OSO	ONO	NW

In Bonn war nur am 2. eine ganz geringe Menge Regen gefallen, nämlich 0,05 Cub. Zoll auf den Quadratfufs: an den darauf folgenden Tagen einschliefslich des 7. 10. fiel daselbst kein Tropfen. Am Schauplatz des Ereignisses selbst fielen während desselben und unmittelbar nachher mächtige Regengüsse. Schon am 7. und 8. zogen am nordwestlichen Himmel gegen den Wind Wolkenwände empor, von denen man Gewitter und den lang ersehnten Regen erwartete. Doch zertheilten sie sich wieder und die Abende und Morgen waren ganz klar. Am 9. erhob sich gegen Süd schwarzes Gewölk, in dem es stark wetterleuchtete. In Nord stiegen wie ungeheure Thürme Wolkenmassen empor. Der ganze Horizont umzog sich. Mit Bestimmtheit wurde auf die Nacht der lang ersehnte Regen erwartet. Bis zum Morgen des 10. war aber das Gewölk wieder zerstreut, kein Tropfen gefallen. Der Wind stand in Nordwest. Um die Mittagszeit stiegen in Süd schwere Wetterwolken auf, denen man in der Ferne, unter Blitzen und Donnerschlägen, Regengüsse entstürzen sah.

Es mochte 1 U. 20 Min. seyn, als von der Mehlemer Au, gegenüber Königswinter, in der Richtung von Honnef, also gegen SSO, ein aschgraues Band am Himmel gesehen wurde. In seinen oberen Theilen stieg es fast senkrecht auf, während es unten sich schief emporzog, s. Fig. 1 Taf. V. Die Höhe, welche es erreichte, mufste sehr bedeutend, wenigstens 2000 F. seyn; denn die nach jener Richtung hin den Horizont begränzenden Berge schienen kaum den 4. oder 5. Theil der Höhe jenes dunklen Streifens zu erreichen. Wo derselbe auf dem Boden ruhte, erblickte man eine schwarze Staubmasse in wirbelnder Bewegung hinaufgezogen. Der dunkle Streif war also eine aus den feinsten Staubtheilchen gebildete Säule. Der Wirbel trieb durch mächtige, im Kreise sich fortpflanzende Stöfse grofse Staub-

und Erdmassen auf, deren schwerere Theile zurückfielen, während die leichteren schnell in grofse Höhen getragen wurden. Anfangs hatte der Anblick eine gewisse Aehnlichkeit mit einem grofsen Brande, dessen Kohlenqualm von heftigem Winde bewegt wird.

Der Wirbel war in fortschreitender Bewegung begriffen, sie war gegen N. W. gerichtet. Der Spiegel des Rheins war bald erreicht. Da erhob sich das Wasser, indem auf der Peripherie eines Kreises, dessen Durchmesser 50 Schritte betragen mochte, Kämme und Strahlen von Wasser und Schaum emporsprangen. Die schöne Erscheinung glich einer sich drehenden Krone, deren weifse Schaumstrahlen 20 bis 30 Fufs aufschossen. Die innere Kreisfläche zeigte sich dabei zu einem Schilde aufgewölbt (was deutlich von der Mehlemer Au, aus halbstündiger Entfernung zu erkennen war) und mit Schaum bedeckt. Man hätte wähnen können, es habe sich im Rheine eine flache Insel erhoben, um welche im Kreise das Wasser aufspritzte. — Die Menge des aufgezogenen Wassers und die Höhe, welche es erreichte, wuchs mit dem Fortschreiten. Anfangs sah man das gegenüberliegende Rheinufer durch die Wasserkrone, was später nicht mehr möglich war. Sie ging bei ihrem Ueberschreiten des Rheins in grofser Nähe zwischen zwei Dampfschiffen hindurch, berührte aber keine Gegenstände, an denen sie ihre Kraft hätte beweisen können. Dem linken Ufer nahe war die Krone schon in eine 40 bis 50 Fufs hohe Wassersäule verwandelt.

Jetzt begann in der Au gegen SSO unter einer Erhebung von 45° bis 50° über dem Horizont eine gelblichweifse Wolkenspitze sichtbar zu werden. Sie hatte die Gestalt eines umgekehrten etwas schief nach Ost gerichteten Kegels (dessen Basis wie ein Nagelkopf geformt war) und hob sich leuchtend ab von graublauen Wetterwolken.

Auf dem linken Ufer angelangt, riſs der Wirbel eine unermefsliche Staubmasse empor, aus welcher er eine Säule bildete, die, obgleich ferner, doch den Gipfel des Drachenfelsens weit an Höhe überragte. Die Höhe desselben über

dem Meere beträgt 1001 par. F., über dem Rheinspiegel an seinem Fuſse 850 par. F. (Nach Messungen des Hrn. v. Dechen.) Der Zusammenhang zwischen dem Sandwirbel und der gelblichweiſsen Wolkenspitze trat jetzt klar hervor. Diese verlängerte sich nämlich nach unten so schnell, daſs man mit dem Auge die Bewegung verfolgen konnte. Auf dunklem Himmel erschien sie wie ein glänzender Degen. Die Spitze der aufstrebenden Sandsäule und der degenförmigen Wolke waren gerade auf einander gerichtet und strebten sich zu vereinigen. So schritt diese Wettersäule, sich nur wenig vom Strome entfernend schnell hinab, gerade auf die Au zu. Ihre Gewalt wuchs; sie nahm eine schreckende Gestalt an. Der wirbelnde Fuſs der Säule war hier den Beobachter durch vorliegende Häuser verdeckt. So konnte er nicht genau ihre Entfernung schätzen, glaubte jeden Augenblick sie über die vorliegenden Wohnungen hinbrechen zu sehen. Auf mehreren gröſseren Schiffen, welche bei der Au lagen, wurde Alles thätig. Man lieſs Anker herab und bereitete sich auf den gefürchteten Wirbel vor. Die Gewalt desselben schien so groſs, der Anblick der Säule so drohend, daſs einzelne Bewohner von Niederdollendorf, 20 Min. unterhalb Königswinter, ihre Wohnung verlieſsen und ins Freie eilten.

Bevor sie indeſs die oberen Landhäuser bei Mehlem erreicht hatte, hielt die Wettersäule in ihrer Bewegung gegen Nord inne, drehte sich in der Richtung des Sonnenlaufs und schritt zurück. Trotz der scheinbar drohenden Nähe blieb der Wirbel (wie spätere Beobachtung lehrte) doch noch 500 Ruthen von der Au entfernt. Zum zweiten Male sprang der Wirbel aufs Wasser mit ungleich gröſserer Gewalt als das erste Mal. Die getroffene Stelle verwandelte sich sogleich in eine weiſse Schaummasse, das Wasser schien hoch aufzusieden, eine Wolke vom feinsten Wasserstaube lagerte darauf. Mit einem Male erhob sich aus dem wogenden Schaume eine Masse von Wasser und Wasserdunst fast senkrecht, ein wenig nach rechts geneigt. Sie theilte sich alsbald in drei Strahlen, welche mit einander parallel

und einander nahe aufwärts streckten. Der mittlere Strahl sprang hoch über die beiden seitlichen empor, und näherte sich mehr und mehr der weifsen degenförmigen Wolke (s. Fig. 2 Taf. V); die beiden seitlichen Strahlen schienen sich nun in je zwei zu zertheilen, so dafs nun fünf erblickt wurden. Der mittelste stieg immer höher, der sich herabsenkenden Wolkenspitze zu. Beide vereinigten sich; so wurde das Wasser aus dem Strom in die Wolken gezogen, welche viel höher als der Drachenfels schwebten. Der mit der Wolke sich verbindende Strahl schien fast in seiner ganzen Länge eine gleiche Breite zu besitzen; nur dort wo er im Gewölk verschwamm, erschien er etwas mächtiger (s. Fig. 3 Taf. V).

Diese Wasserhose neigte sich anfangs etwas von West gegen Ost. Bald richtete sie sich senkrecht empor, und überschritt so den Strom. In jedem Augenblick veränderte sie ihre Gestalt. Die beiden Nebenstrahlen jederseits des Hauptstrahls verbanden sich zu je einem (s. Fig. 4 Taf. V). Einige Minuten lang hatte die Wassersäule die auffallendste Aehnlichkeit mit einem gothischen Thurme. Senkrecht erhob er sich wie Silber glänzend und berührte mit seiner Spitze die Wolken. Das Volk mit seiner lebendigen Phantasie vermifste daran keinerlei Schmuck und Zierrath. »Kein Steinmetz vermag so wunderschöne Blumen und Schnörkel zu hauen wie *der* Thurm trug«; »er war genau wie das Hochkreuz bei Godesberg« hörte man zu Rhöndorf und Honnef versichern. Die merkwürdigen Nebenstrahlen jederseits des Hauptstrahls wurden auch oberhalb Mehlem gesehen.

Darauf verengte sich die Wassersäule an ihrem Fufse, wo sie auf der wirbelnden und kochenden Wasserstaubmasse ruhte (s. Fig. 5 Taf. V). An der Stelle wo diese Zusammenziehung stattfand, befindet sich im Rhein eine Untiefe, welche zur Zeit des Ereignisses nur 1 bis 2 Fufs Wasser besafs. Es war also nicht Wasser genug im Strome, um die Wassersäule zu unterhalten. Nun vereinigten sich alle Strahlen, die Einschnürung verschwand und wie ein Rie-

sen-Obelisk schwebte die Gestalt auf dem Rheine (s. Fig. 6 Taf. V). Sie bewegte sich gegen Rhöndorf und erreichte das rechte Ufer etwa 30 Ruthen unterhalb der Rhöndorfer Fähre. Hier löste sich die Schaumsäule vom Stromspiegel ab. Die schwereren Wassertheile fielen wie niederhangende Fetzen von der aufsteigenden Schaummasse herunter und über das Ufer weg, während der Schaum zu den Wolken gezogen wurde. Zum dritten Male auf seinem Wege rührte der Wind Staub und Sand empor. Die dunkle Masse stieg der weifsen Schaumsäule nach; obgleich sie sich berührten, waren beide Theile scharf durch eine horizontale Linie geschieden. Während die Schaummasse gänzlich in den Wolken verschwand und der Staub folgte, schritt die Wettersäule vor Rhöndorf hin, auf den südlichen Fufs des Drachenfelses zu. Sie erreichte ihn nicht, ihre Gewalt nahm ab. Endlich verschwand für den Beobachter in der Au alles unter dem wolkenbruchartig herabstürzenden Regen, dem Hagelkörner beigemengt waren. Das Wetter kam von Süd.

Das ganze Wirbelphänomen dauerte etwa 35 Minuten. Demjenigen was von der Au aus erblickt wurde, mufs sich das anreihen, was von anderen Beobachtern erkundet wurde und was auf dem Wege der Wettersäule selbst zu bemerken war. Danach konnte der Weg auf der Kartenskizze Taf. V. mit Genauigkeit verzeichnet werden; mit einziger Ausnahme der zweiten Passage über den Rhein, während welcher der Wirbel eine merkwürdige Drehung beschrieben zu haben scheint.

Die Erscheinung entstand aus einem allmählich an Stärke wachsenden Wirbelwinde zwischen Honnef und Sellhof in der Nähe des Kirchhofs. Ohne merkbare Wirkungen zu hinterlassen, wanderte die Staubsäule bis zu der Häusergruppe, welche gegenüber der Insel Grafenwerth 1 bis 200 Schritte vom Rheine entfernt liegt. Hier wurden unter weithin schallenden Schlägen von einem Dache gegen 400 Ziegel herunter und einige davon bis 300 Schritte weit fortgeschleudert. Starke Aeste wurden von den Bäumen gerissen und

nebst Laken, welche zum Bleichen ausgebreitet waren, weit in den Rhein getragen. Einige gröſsere Schiffe welche daselbst ausladeten, lieſsen die Anker fallen. Sie wurden indeſs nicht vom Wirbel getroffen, welcher dicht bei ihnen noch auf dem Ufer fortschritt. Schon jetzt hatte man auf den Schiffen die degenförmige Wolkenspitze bemerkt. Sie stand hoch am südwestlichen Himmel und senkte sich gegen NO hinab. Die Fahrzeuge lagen gerade unter der hier schief liegenden Wirbelaxe. Unterhalb der Insel Grafenwerth erreichte die Bewegung die Rheinfläche. Durch geknickte Weidenstämme war die Stelle bezeichnet, wo der Wirbel von Land auf Wasser übersetzte. Mehrere unbefangene Beobachter, die in groſser Nähe der Bildung der Wasserkrone zuschauten, bestätigten mit Bestimmtheit die Drehung derselben im Sinne des Sonnenlaufs; widersprechen dem auch die Aussagen zweier anderen Augenzeugen, welche indeſs ferner standen, so scheint doch durch die dreimalige Wendung der Bahn im Sinne des Sonnenlaufs, bei Sellhof, bei Mehlem und Rhöndorf die nämliche rotatorische Bewegung bewiesen zu werden. War diese vorhanden, so ist es möglich, jene drei Bahnwendungen allein durch die Widerstand leistende oder entgegenströmende Luft zu erklären. So weichen ja auch die Kugelgeschosse in der Richtung ihrer Rotation von der geradlinigen Bahn ab. Auf der linken Rhein-Seite war mit Genauigkeit die Stelle zu bezeichnen, wo der Wirbel ans Ufer getreten, die Wassersäule sich wiederum in eine Sandhose verwandelt hatte. Die Weiden waren niedergedrückt, einzelne Aeste losgerissen. Ein 2 Zoll dicker Pappelbaum war am Boden gebrochen und lag hingestreckt in der Richtung des fortschreitenden Zuges. Von hier lieſs sich nun die Wirbelbahn mit groſser Bestimmtheit verfolgen bis zu der Stelle, wo sie zum zweiten Mal aufs Wasser führte. Sie war überall durch niedergedrückte Saaten bezeichnet. Die Breite der Bahn mochte 50 Schritte betragen, wo sie aber die Curve beschrieb, wuchs ihre Breite auf das Doppelte und Dreifache. Aus

der Richtung in welcher die Halme lagen, konnte man nicht nur die Richtung der Bahn, sondern auch die Stellung der Halme zur Bahnmitte bestimmen. Denn nur in der Mitte lagen sie genau mit dem Zuge, an den Seiten mehr der Mitte zugewandt. Hieraus darf man vielleicht auf eine Luftverdünnung im Innern des Zuges schliefsen. Darauf deutet auch wohl jene schildförmige Erhebung im Innern der Wasserkrone. Aufserhalb der grofsen Curve, welche die Wettersäule oberhalb Mehlem beschrieb, lagen in einer Entfernung bis zu mehreren hundert Schritten (also nicht mehr auf der Bahn selbst) ein Theil der Saaten gerade gegen den Mittelpunkt des Halbkreises gerichtet. Es mufste sich die Luft von allen Seiten senkrecht gegen den umkehrenden Strom bewegt haben. Von Rhöndorf aus sah man, wie durch den Wirbel, während er seine Kehr beschrieb, eine grofse Menge von Halmen ausgerissen und in der Staubsäule mit emporgeführt wurde. Staub und Halme und mit ihnen blaue Kornblumen sind ohne Zweifel in grofser Höhe über den Rhein getragen worden. Denn mit dem Regen, welcher bei Rhöndorf begann, als der Wirbel das rechte Ufer erreichte, fielen jene Dinge auf ein Schiff herunter, welches dort am Lande lag.

Die eigenthümliche Gestalt der Bahnlinie auf ihrem zweiten Uebergange über den Rhein wurde nach Beobachtungen in Rhöndorf und auf dem Drachenfels aufgezeichnet. Die Wasserhose rückte anfangs stromauf gerade gegen die Spitze von Nonnenwerth, kehrte dann scharf um, und lief in einem nach rechts gewandten Bogen nach Rhöndorf. Die auf der Karte dargestellte Ansicht, dafs die Umkehr in einer Spitze oder Schleife stattgefunden (und nicht in einem Bogen) ist gewifs gerechtfertigt, da eine fortschreitende Bewegung in diesem Theile der Bahn durch dieselben Kräfte kann bedingt werden, wie die Bewegung in den drei Biegungen der Bahn von der Linken zur Rechten. Schwieriger scheint derjenige Theil der Bahn zu erklären, welcher zwischen den Häusern gegenüber Grafenwerth und der Umkehr bei Mehlem liegt, denn dort zeigt sie eine Einwirkung

welche mit den anderen Bahnbiegungen nicht im Einklange steht.

Auf der kurzen Strecke, welche der Wirbel vor der Rhöndorfer Fähre bis zur Stelle seines Erlöschens durchlief, hat er deutliche und gewaltsame Spuren zurückgelassen. Am Wasser liegt ein mehr als armdicker Weidenstamm gebrochen. Kleine Fruchtbäumchen, welche in den Saaten standen und Weinreben wurden geknickt. Auf einer Breite von 50 bis 60 Schritten lag das Getreide nieder, wobei in der Richtung der hingestreckten Halme dieselbe Regel herrschte wie oberhalb Mehlem. Vom Ufer lief die Wirbelbahn in einem wenig nach rechts geschwungenen Bogen auf das Rechmann'sche Wirthshaus los, welches an der Landstrafse etwas unterhalb Rhöndorf liegt. Mit seiner ganzen Kraft fiel der Wirbel auf ein Nebengebäude und auf die Kegelbahn los, während das Hauptgebäude etwas zur Rechten aufserhalb der Bahnmitte lag. Vom Dache der Kegelbahn wurden sämmtliche Ziegel herabgeworfen, während das Dach des anderen Nebengebäudes nur an zwei Stellen durchbrochen und zertrümmert wurde. Einige hundert Schritte weiter gegen Ost verlor sich in den Fluren jede Spur der gewaltsamen Luftbewegung.

Ueber das Ende der Erscheinung geben die Aussagen von Augenzeugen auf dem Drachenfels die meisten Aufschlüsse. Während nämlich aus der Tiefe der obere Theil der Wettersäule wegen des heftigen Regens nicht mehr erblickt werden konnte, sah man vom Drachenfels, wie die Säule vom Boden sich abhob und die aufgewirbelten Stoffe nun in den oberen, trichterförmig gestalteten Theil der Trombe aufgezogen wurden. Die Bewegung der oberen Lufttheile mufste heftiger seyn als diejenige der unteren; denn die herabhängende Spitze des Trichters blieb hinter der gegen Ost fort- und aufstrebenden Basis zurück. Als der Wirbel bei Mehlem auf den Rhein trat, war seine Axe abwärts nach Ost gesenkt; während des Stromübergangs richtete sie sich senkrecht empor, um am andern Ufer die entgegengesetzte Neigung anzunehmen.

Die Länge der ganzen von der Wettersäule durchlaufenen Bahn beträgt 1300 Ruthen. Da die Dauer 35 Minuten betrug, so legte sie in 1 Minute 37,1 Ruthen zurück.

VIII. *Ueber die Temperaturverhältnisse der Quellen.*

Von Hallmann's »Temperaturverhältnisse der Quellen (s. dies. Ann. Bd. 92, S. 658) ist 1855 der zweite und letzte Band erschienen. Der Tod ereilte Hallmann vor der Vollendung des zweiten Bandes. Es fehlt demnach von Hallmann's Hand eine Uebersicht der Resultate, deren Aufzählung sehr erschwert wird durch die oft polemische Darstellungsweise und des sogleich zu erwähnenden Aufgebens des im ersten Bande und noch in der Hälfte des zweiten Bandes festgehaltenen meteorologischen Standpunktes. Während Hallmann, bestimmt durch die Buch'sche Ansicht, früher die Einwirkung der Regentemperatur auf die Veränderungen der Quellenwärme für sehr grofs hielt, den Einfluſs der Lufttemperatur sehr gering anschlug, das Gefüge des Bodens, aus welchem die Quellen hervorkommen, für durchaus untergeordnet nahm, während die Bodenwärme als selbstständige Gröſse für ihn gar nicht vorhanden war, so erkennt er in der letzten Hälfte des zweiten Bandes an, daſs die Wärme des Bodens, der Luft und der Meteorwasser zur Bildung der Quellenwärme zusammenwirken. Aber weder Quell- und Luftmittel, noch Bodenwärme und Quellmittel fallen nothwendig zusammen. Die Boden- (Erd-) Wärme, welche unmittelbar unter der Erdoberfläche beginnt, erleidet bis zu einer gewissen Tiefe, bis zur Ebene der unveränderlichen Temperatur, im Umlaufe des Jahres Veränderungen in Folge atmosphärischer Einwirkungen. Aber die Bodenwärme und die mit ihr sich identificirende mitt-

lere Quellentemperatur, welche die Durchschnittswärme der in den einzelnen Fällen von den Meteorwassern durchsunkenen Erdschicht (Quellschicht) ist, läfst sich nicht durch Rechnung finden. Alle periodischen Wärmeveränderungen der Quellen sind Wirkung von Meteoren d. h. der Luft- und Regentemperatur; aber diese sind nur im Stande sehr kleine Bewegungen im jährlichen Quellmittel hervorzubringen. Entspringt die Quelle aus Sandboden, so scheint die Luftwärme das einzige Meteor zu seyn, welches, durch Veränderung der Bodentemperatur, auch die Quellwärme verändert. Das Meteorwasser sinkt nämlich so langsam in die Tiefe, dafs die Luftwärme durch Mittheilung rascher hinabdringt. Entspringt die Quelle aus Felsboden, so bringen Wärme der Luft- und der Meteorwasser, aber nicht die Regenvertheilung, Wärmeveränderungen in Boden und Quelle hervor. Den Begriff »von meteorologischen Quellen« giebt Hallmann durchaus auf; in allen Quellentemperaturen steckt Bodenwärme.

Nach den Beobachtungen in Grofsbrittannien, Schweden, Deutschland und der Schweiz ist das Quellmittel etwas höher als das vieljährige Luftmittel und zwar nimmt diese Differenz, die Gröfse, um welche das Luftmittel unter das Mittel der Quellwärme sich erniedrigt, in der Richtung von Südwest nach Nordost zu; eine Folge von der in derselben Richtung wachsenden Dauer des Winterfrostes und der Schneedecke. Je dünner die Quellschicht ist, desto geringer ist der in ihrer Quellentemperatur enthaltene Antheil Bodenwärme, desto ausschliefslicher ist die Höhe des Quellmittels das Erzeugnifs des örtlichen Klimas; je mächtiger die Quellschicht, destomehr ist das Quellmittel durch die Erdwärme erhöht; die Quellen zerfallen demnach in vorherrschend klimatische und überwiegend geologische. Zur Vergleichung von Quelltemperaturen können natürlich nur klimatische Quellen von gleich mächtiger Quellschicht gebraucht werden.

Im Gegensatz zu dem bisher Angeführten ist in Rom und der römischen Campagna das Mittel der vorherrschend

klimatischen Quellen nicht im Stande die Höhe des vieljährigen Luftmittels zu erreichen; letzteres ist im Durchschnitt 0°,6 höher. Die Höhe seiner Wärme der Luft dringt nämlich nicht vollständig genug in die Quellen ein, ähnlich wie im nördlichen Europa die Winterkälte nur unvollständig. Aus dem Verhalten der Quellen in und um Rom folgt nicht, dafs der Boden kälter sey als die Luft, d. h. dafs die mittlere jährliche Durchschnittswärme der Bodenschicht, welche von der Oberfläche bis zur untern Gränze der Quellschicht reicht, niedriger stehe als die der Luft. Es liegt nämlich im Sommer über der Quellschicht noch die wärmste oberste Bodenschicht, deren Temperatur bei der geringen Menge der Sommerregen zur Ausflufstemperatur der Quellen nicht mitwirkt. Aehnlich zieht sich in Nordeuropa bei anhaltendem trocknem Frost die obere Gränze der Quellschicht tiefer hinab. Mit der Dauer und Höhe der trocknen Sommerhitze nimmt also der Unterschied zwischen Quelle und Luftmittel zu; lange Beobachtungsreihen, nicht einzelne Messungen von Quelltemperaturen, werden die Gränzen dieses Unterschiedes in den heifsen Climaten bestimmen.

Wichtig ist noch der Nachweis von oberen kalten Quellen, welche nicht auf dem gewöhnlichen Wege durch Zusammensickern von Meteorwassern entstehen, sondern Abflüsse hochgelegener unterirdischer oder offener Wasseransammlungen und in Folge dessen sehr wasserreich sind, wo also das Wasser rasch und in Masse hinabkommt, bringen Kälte aus der Höhe herab, sind abnorm kalt für das Niveau, in welchem sie hervortreten. Dazu gehören die Quellen des Mühlbaches von Nemi, welche, in 1204 Fufs Seehöhe austretend, am 25. April 1853 10°,5 zeigten, während sie der Rechnung nach 11°,85 hätten zeigen sollen, da die 418 Fufs höher liegende Hauptquelle in Nemi 10°,85 aufwies. Die bei Hallmann im Detail ausgeführte Rechnung ergiebt, dafs 10°,5 einer Höhe von 1739 Fufs entspricht; die Quellen kommen also nach dieser Anschauung 535 Fufs zu niedrig zum Vorschein. Aehnliche abnorm kalte Quel-

len kommen in Teveronethal zwischen Arsoli und Agosta, und bei Jenna, 6 Miglien oberhalb Subiaco im Garigliano-thal, und bei St. Germano vor. Wie bei Nemi kommen im Teveronethal daneben auch gewöhnliche Quellen, sowohl überwiegend geologische als vorherrschend klimatische vor.

IX. *Notiz betreffend den elektrischen Funken; von K. W. Knochenhauer.*

Die im vergangenen Jahre publicirte Abhandlung von Riefs über die Entladung einer Batterie durch Flüssigkeiten, gab mir damals Veranlassung, einige Versuche dieser Art anzustellen. Es traten hierbei einige sonderbare Verhältnisse auf, allein andere Arbeiten hielten mich ab, die Sache weiter und gründlicher zu verfolgen. Jetzt sind durch die zweite Abhandlung von Riefs neue und höchst beachtenswerthe Thatsachen mitgetheilt worden, die ihn zu dem Satze führen, dafs es verschiedene Arten von Funkenentladungen in Flüssigkeiten gebe; da nun meine erwähnten Beobachtungen wahrscheinlich auch nur durch dieselbe Annahme ihre richtige Erklärung finden können und den Satz überdiefs auf Funkenentladungen durch Luft ausdehnen, so will ich dieselben, so wie ich sie mir notirt habe, kurz mittheilen.

Die aus 2 Flaschen bestehende Batterie gab, wenn sie auf eine Schlagweite von etwas über 2 Linien geladen wurde, in dem Thermometer eine Erwärmung von 23,5 und wenn noch 16' Kupferdraht in den Schliefsungsdraht eingefügt wurden, von 21,2. In den anfänglichen Schliefsungsbogen wurde der Funkenmesser eingeschaltet, der in seinen Metalltheilen keinen merklichen Widerstand darbietet; die Kugeln desselben standen um 5 Linien aus einander, und zwischen die zunächst stehenden Flächen ward central ein

runder Holzstab von $1\frac{1}{2}$ Linie Durchmesser fest eingedrückt. War dieser Stab mit Wasser (Brunnenwasser) genäfst, so ging die Entladung der Batterie mit einem starken Funken über und die Erwärmung war 16,6; ward der Stab in mit Schwefelsäure versetztem Wasser getaucht, so gab die Funkenentladung 12,7 und konnte bei recht reichlicher Benetzung bis 9,5 fallen; nur einmal erfolgte kein Funke und die Erwärmung sank auf 2,0. Diese Beobachtungen dürften sich vielleicht durch die Annahme erklären, dafs neben der Entladung durch den Funken ein Theil der Elektricität durch die Flüssigkeit geleitet werde. Allein bei anderen Beobachtungen, und zwar nur wenn das Wasser gesäuert war, wurde der Holzpflock weit fortgeschleudert, die Entladung erfolgte in einem ebenso stark schallenden und glänzenden Funken als wenn der Pflock an seiner Stelle blieb, und doch zeigte das Thermometer nur 2,0 bis 3,0 oder in einigen Fällen etwas mehr an. Der Schall des Funkens war so gleichartig, dafs man durch das Gehör nicht entscheiden konnte, ob der Holzpflock geblieben oder fortgeschleudert war, während die Beobachtung am Thermometer diefs sogleich angab. Die Annahme, dafs der elektrische Strom, (denn die Batterie war vollkommen entladen) erst durch die Flüssigkeit gehe und dann zuletzt den Pflock fortschleudere, scheint mir nicht zulässig zu seyn, da bei einer Erwärmung von 2 bis 3 fast die ganze Elektricität abgeleitet seyn müfste und somit keine übrig bliebe, um den glänzenden und schallenden Funken zu erzeugen; die Annahme einer verschiedenen Funkenbildung dürfte allein zur Erklärung ausreichen. In einer anderen Reihe war der Holzstift kaum $\frac{3}{4}$ Linien stark; er war theils trocken (*T*), theils mit Wasser (*W*), theils mit stark gesäuertem Wasser (*S*) durchnäfst; in dieser Reihe wurde aufserdem der Funkenmesser mit 16′ Kupferdraht umschlossen, so dafs eine Stromtheilung erfolgte. Es fand sich

	für	*T*	*W*	*S*
im ganzen Strom		17,2 — 18,2*	17,0* 10,0** 5,0**	2,7** 6,7**
bei d. Stromtheil.		21,2	21,2	16,2

Bei der Stromtheilung war offenbar in den Fällen *T* und *W* keine Elektricität über den Funkenmesser gegangen, da der volle Strom über 16′ Kupferdraht gerade 21,2 giebt; bei *S* fand eine Leitung ohne Funken durch das gesäuerte Wasser statt. Der ungetheilte Strom ging über das trockne Holz nur schwierig in einem Funken (*); man hörte vor der totalen Entladung erst einige kleinere Funken über den Auslader springen; im Falle *W* erfolgte entweder ein Funke, oder das Holz wurde bei gleich stark schallendem Funken (**) über 6′ weit fortgeschleudert und zersplittert; im Falle *S* wurde das Holz jedesmal weggesprengt; die Erwärmungen fielen dabei ungleich, aber immer gering aus. Hier ist es wohl kaum denkbar, dafs, wenn der Holzstift nur mit Wasser getränkt war, die Entladung zuerst durch das Wasser gegangen seyn sollte, so dafs die Erwärmung selbst bis auf 5,0 hätte herabgehen können; es ist diefs um so weniger denkbar, als bei der Stromtheilung keine Elektricität durch den feuchten Stab eine Ableitung findet. Wurde zwischen die Kugeln des Funkenmessers ein $\frac{1}{2}$ Linie starker und 6 Linien langer Holzkeil geschoben, der nicht fortgerissen werden konnte, so war die Erwärmung

für	*T*	*W*	*S*
im ganzen Strom	17,5*	17,0*	15,2*
bei d. Stromtheil.	21,2	21,2	19,6

Hier ging wiederum im Fall von *T* und *W* keine Elektricität bei der Stromtheilung durch den Keil, dagegen einige im Falle *S*; das Wasser enthielt übrigens diefsmal weniger Schwefelsäure als vorher. Beim trocknen Keil sprangen wie früher erst einige kleine Funken über den Auslader. Unter Anwendung eines neuen mit Wasser getränkten, etwas über $\frac{1}{2}$ Linie starken Keils wurden die Kugeln des Funkenmessers in verschiedene Distanzen eingestellt; diefs gab

Distanz	5‴	4‴	3‴	2‴		1‴
im ganzen Strom	17,2*	17,5*	18,9*	19,4*		20,7*
bei d. Stromtheil.	21,2	21,2	21,2	21,2 18,5*	} abwechselnd	19,1*;

als der Keil entfernt und nur Luft zwischen den Kugeln war

Distanz	2‴	1‴	
im ganzen Strom	22,6*	23,4*	
bei d. Stromtheil.	21,2	21,2 18,5*	abwechselnd

Erfolgte bei der Stromtheilung kein Funke, so isolirte Wasser und Luftschicht; schlug ein Funke über, so war die Erwärmung geringer. Wenn sie durch die Luftschicht auf 18,5 herabgedrückt, also geringer wurde als durch 16′ K. allein oder durch die Luftschicht allein, wo 21,2 und 23,4 beobachtet wurden, so ist diefs gegen die Gesetze der Stromtheilung bei vorhandener Leitung durch beide Zweige, indem hier die Stromwärme jedesmal gröfser ist als die Wärme, welche der am meisten hemmende Zweig liefert, wenn durch ihn allein nach Entfernung des anderen der ganze Strom hindurchgeht. Mufs man also für den vorliegenden Fall annehmen, dafs der Funkenüberschlag durch Luft einen gröfseren Widerstand darbietet, wenn er im Zweige, als wenn er im ganzen Strom erfolgt, so kann der Grund wohl nur in einer Verschiedenheit der Funkenbildung liegen, und diese wird ebenfalls anzunehmen seyn, wenn der genäfste Keil, wie bei 2‴ und 1‴ Distanz, vorhanden ist. Der Keil wurde mit schwach gesäuertem Wasser durchnäfst; die Wärme war

Distanz	5‴	4‴	3‴	2‴	1‴
im ganzen Strom	16,7*	17,3*	18,4*	19,0*	19,4*
bei d. Stromtheil.	kein Funke ist beob.		17,2 – 18,2*		

dafs hier wie in der vorigen Reihe beim Ueberschlag des ganzen Stroms in einem Funken die Erwärmung steigt, wenn die Kugeln einander näher stehen, dürfte wohl gegen die Annahme sprechen, dafs ein Theil der Ladung durch die Flüssigkeit hindurchgehe; denn bei kürzerer Schicht sollte dann mehr Elektricität durch die Flüssigkeit laufen und die Erwärmung müfste deshalb vielmehr ab- als zunehmen. Ganz entscheidend sind jedoch diese Beobachtungen nicht, weil bei gröfserer Distanz der Kugeln auch die Funkenbildung schwieriger erfolgt, und um deswillen mehr Elektricität durch den Keil gehen könnte. Um einen längeren freien Funken

zu erlangen, wurde zwischen die um 5‴ auseinanderstehenden Kugeln eine starke Spiritusflamme geleitet; dieſs gab im vollen Strom 19,5* und bei der Stromtheilung 17,2* (die Erwärmung im ununterbrochenen Schlieſsungsbogen war hier 26,4 und nach Einschaltung von 16′ Kupferdraht 23,9), also sank wiederum die Erwärmung bei getheiltem Strom unter 19,5 herunter. In dieser Reihe sind die Zahlen Mittel aus 4 gut übereinstimmenden Beobachtungen.

X. *Ueber eine auffallende Lichterscheinung bei totaler Reflexion des Wolkenlichtes nach Sonnenuntergang; vom Fürsten zu Salm-Horstmar.*

Als ich in der Abenddämmerung in der Stube sitzend das Licht des östlichen Himmels zur totalen Reflexion brachte durch ein Glasprisma von 90° welches ich in der Hand etwa 2 Fuſs vom Auge hielt, sah ich die innere Fläche der Basis das prachtvollste Dunkelblau reflectiren. Der östliche Himmel bestand, soweit ich ihn von meinem Platz sehen konnte, aus einer sehr dunkeln Wolkenwand, unter welcher am Horizont ein auffallend heller weiſser Streifen sich befand. Es war keine Spur von gelbem oder röthlichem Schein am Himmel zu bemerken. Die schöne blaue Erscheinung im Prisma blieb ungestört sogar als es so dunkel im Zimmer war, daſs Licht gebracht werden muſste. Auch bei diesem Licht setzte ich mein Spiel mit dem kaum noch sichtbaren Wolkenlicht fort, mich an den Tisch setzend, auf welchem die darauf stehende Lampe ihr gebliches Licht auf das weiſse Tischtuch warf. Hier erschien aber die Reflexion des Wolkenlichts nicht nur auf der inneren Fläche des Prismas blau, sondern auch sehr schön an der polirten krummen Fläche des metallenen Fuſses der Lampe. Als aber ein schwarzes Tuch auf dem Tisch ausgebreitet wurde, ver-

schwand die blaue Erscheinung im Innern des Prismas sogleich.

Die *blaue* Farbe war also hier eine subjective Farbe, erzeugt durch den Contrast. Aber bei dem ersten Versuch im dunklen Zimmer war die blaue Erscheinung so frappant, weil man hier in der Umgebung kein überwiegendes Gelb bemerken konnte.

Als ich diesen Versuch in demselben Zimmer mit dem Licht der Abenddämmerung, aber zu einer Jahreszeit wiederholte, wo die ganze Gegend tief *mit Schnee* bedeckt war, fand die blaue Reflectionserscheinung im dunkeln Dämmerlicht *nicht* statt, sondern ein weifses Licht, mit sehr mattem Stich ins Gelb, wurde reflectirt. Der östliche Himmel war hier theilweise klar, theilweise mit Schneewolken überzogen. *Aber die blaue* Erscheinung *trat auch hier ein, sobald* die Beobachtung, wie oben, in *der Nähe des gelben Lichts einer Lampe* gemacht wurde; jedoch war jetzt das Blau schwächer, auch auf dem Fufs der Lampe war es wieder sichtbar.

Vielleicht kann diese Notiz dazu dienen, um durch Benutzung der Totalreflection und der in ihr auftretenden subjectiven Contrastfarbe, die Frage zu beantworten, welche Farbe objectiv vorherrsche, besonders bei sehr schwachem Licht. Auch die Farben der Wolken und des Himmels lassen sich oft besser damit beobachten, weil man vom Licht des Himmels weniger geblendet wird und doch nicht so viel Licht verliert wie beim schwarzen Spiegel. Um die Farbe des Glases zu entfernen, kann man richtig geschnittenen Bergkrystall nehmen.

XI. *Intermittirende Fluorescenz; von J. Müller.*

An einem Papierstreifen, welcher mit einer Lösung von Barium-Platin-Cyanür in der Weise bestrichen worden war, dafs nach dem Verdampfen des Wassers das Papier mit einer Schicht zarter grünlicher Kryställchen überzogen schien, habe ich folgende eigenthümliche Erscheinung beobachtet die ich als intermittirende Fluorescenz bezeichnen möchte. Das in einem dunklen Zimmer durch ein Flintglasprisma erzeugte Spectra wurde mit Hülfe einer Linse von grofser Brennweite so hergestellt, dafs die Fraunhofer'schen Linien auf einem Papierschirm deutlich sichtbar waren. Als nun an die Stelle des gewöhnlichen Papierschirms das mit Barium-Platin-Cyanür überzogene Papier gesetzt wurde, erschien fast die ganze Partie, auf welche blaue Strahlen fielen, unverändert blau; in diesem blauen Stück des Spectrums traten aber noch drei isolirte grüne Fluorescenzstreifen auf, wie diefs Fig. 11 Taf. IV zeigt, in welcher das entsprechende Stück des Spectrums mit den Fraunhofer'schen Linien *H*, *G* und *F* in der Weise abgebildet ist, dafs die schattirten Partien blau, die weifsen aber grün darstellen. Einer der erwähnten Fluorescenzstreifen fällt mit seiner Mitte auf die Fraunhofer'sche Linie *G*, die beiden anderen liegen zwischen *G* und *F* und zwar entspricht die Mitte dieser Streifen den Wellenlängen 0,000462^{mm}, 0,000446^{mm} und 0,000430^{mm}. Die Lichtstrahlen der eben genannten Wellenlänge bringen also auf dem Barium-Platin-Cyanür eine grüne Fluorescenz hervor, während die dazwischenliegenden Wellenlängen 0,000454^{mm} und 0,000438^{mm}, so wie auch Strahlen von der Wellenlänge 0,000420^{mm} keine Fluorescenz auf dieser Substanz bewirken.

Eine ununterbrochene grüne Fluorescenz beginnt erst an der Stelle des Spectrums, welche ohngefähr einer Wellenlänge von 0,000410^{mm} entspricht. Bis jetzt ist mir keine ähnliche Erscheinung bekannt.

XII. *Ueber die Zunahme des elektrischen Leitungswiderstandes der einfachen Metalle mit der Temperatur; von R. Clausius.*

Im Maihefte dieser Annalen befindet sich eine interessante Abhandlung von Arndtsen über den Leitungswiderstand der Metalle bei verschiedenen Temperaturen, in welcher der Verf. zu dem Resultate gelangt, dafs bei den einfachen Metallen, die er untersucht hat, mit Ausnahme des Eisens, der Leitungswiderstand gleichmäfsig mit der Temperatur wächst, und dafs ferner die verhältnifsmäfsige Zunahme bei den verschiedenen Metallen wenig von einander abweicht. Nennt man den Leitungswiderstand beim Gefrierpunkte 100, so liegen die Zahlen, welche die Zunahme für 1° C. angeben, bei den sechs untersuchten einfachen Metallen, mit Einschlufs des Eisens zwischen 0,327 und 0,413 [1]), und Arndtsen fügt hinzu, dafs man vielleicht, wenn man absolut chemisch reine Metalle anwendete, und die Untersuchung noch genauer ausführte, ganz übereinstimmende Zahlen finden würde.

Beim Anblicke dieser Zahlen ist es mir aufgefallen, dafs sie dem Ausdehnungscoëfficienten permanenter Gase nahe liegen. Wenn man das beim Eisen vorkommende quadratische Glied vernachlässigt, und aus den sämmtlichen ersten Coëfficienten das Mittel nimmt, so erhält man für den Leitungswiderstand w_t bei der Temperatur t, verglichen mit dem Leitungswiderstand w_0 beim Gefrierpunkte, die Formel;

$$w_t = w_0 (1 + 0{,}00366 \cdot t),$$

woraus folgen würde, dafs der Leitungswiderstand der einfachen Metalle im festen Zustande nahe proportional der *absoluten Temperatur* wäre.

Obwohl die Anzahl der von Arndtsen untersuchten

1) Auch die von Matthiefsen für Kalium und Natrium im festen Zustande gefundenen Zahlen fallen zwischen diese Gränzen. (S. d. Ann. *Bd. C, S.* 188.)

Metalle noch zu gering und die Uebereinstimmung der Zahlen zu unvollkommen ist, um schon einen sicheren Schlufs zu gestatten, so glaube ich doch, dafs diese Bemerkung vielleicht von einigem Interesse seyn, und zu weiteren Untersuchungen Anregung geben könnte.

XIII. *Ueber die Verhältnisse zwischen den Spannungen und Temperaturen der Dämpfe; von J. A. Groshans.*

Bei Vergleichung der Zahlen in der Tafel, welche Hr. Regnault nach seinen Versuchen über die Spannung der Wasserdämpfe bei verschiedenen Temperaturen berechnet hat, habe ich folgende Formel gefunden:

$$\frac{t_a - 100}{b_b - 100} = \frac{\sqrt[6]{a} - \sqrt[6]{760}}{\sqrt[6]{b} - \sqrt[6]{760}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

wo a und b zwei in Millimetern ausgedrückte Spannungen und t_a und t_b die ihnen entsprechenden Temperaturen sind.

Um zu sehen, wie diese Formel mit den Regnault'schen Resultaten übereinstimme, habe ich die folgende Tafel berechnet.

t_b	Spannung b mm	t_a berechnet
0	4,600	121,36
+ 25	23,550	120,89
+ 50	91,982	120,63
75	288,517	120,54
95	633,778	120,59
105	906,41	120,59
120	1491,28	120,61
121	1539,25	120,60
122	1588,47	120,64
150	3581,23	120,77
175	6717,43	120,97
200	11688,96	121,22
230	20926,40	121,13
	Mittel	120,81

Die Zahlen t_b und b sind direkt aus der Tafel genommen; a ist immer gleich zwei Atmosphären $= 1520^{mm}$.

Die Zahlen 100 und 760 in der Formel könnten, wie man sieht, ersetzt werden durch ebenfalls willkührliche aus der Regnault'schen Tafel genommene Zahlen t_e und c.

Nimmt man z. B. $t_a = 150$; $t_b = 200$ und a und b nach der Tafel, setzt darauf diese Werthe in die Formel (1), macht nun $t_e = 0$ und löst die Gleichung in Bezug auf c, so findet man $c = 4^{mm},221$. Regnault's Tafel giebt $4^{mm},600$ für die Spannung des Wasserdampfs bei 0° C.

Macht man dagegen $c = 0°$ C. während a, b, t_a, t_b unverändert bleiben, so findet man $t_e = -79,39$[1]); diese letztere Zahl ist also die untere Verdunstungsgränze für das Wasser.

Man kann also die Formel (1) verwandeln in diese:

$$\frac{t_e + 79}{t + 79} = \frac{\sqrt[6]{a}}{\sqrt[6]{b}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Die Temperaturen (gezählt von der unteren Verdunstungsgränze) verhalten sich also wie die sechsten Wurzeln aus den Drucken, oder die Drucke stehen im Verhältnifs der sechsten Potenzen der Temperaturen.

Im J. 1849 fand ich die Formel:

$$\frac{273 + 100}{273 + e} = \frac{273 + T}{273 + t} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

welche den Satz ausdrückt: Wenn alle Temperaturen. von — 273° C. ab gezählt werden, so sind für irgend zwei Flüssigkeiten alle entsprechenden Temperaturen proportional.

(100 ist der Siedepunkt des Wassers oder irgend einer Flüssigkeit; T und t sind zwei correspondirende Temperaturen des Wassers und der anderen Flüssigkeit.)

Diese Formel habe ich, nach den Versuchen von Regnault und Faraday, verificiren können für Alkohol, Kohlensäure und Salpetergas; andere Flüssigkeiten, z. B. Aether, besonders aber Schwefelkohlenstoff, zeigen ziemlich grofse

1) Natürlich findet man etwas andere Werthe, wenn man a und b ändert; für $a = 25°$ und $b = 0$ findet man — 79,92; man findet aber auch Zahlen wie 74,75 u. s. w.

Unterschiede gegen die Formel; ich werde später die Resultate meiner Berechnungen hierüber veröffentlichen.

Nimmt man an, die Formeln (3), (1) und (2) seyen im Allgemeinen auf alle Flüssigkeiten anwendbar, und nennt t_0 die untere Verdampfungsgränze einer bei e siedenden Flüssigkeit, so berechnet sich diese Gränze durch die Formel:

$$t_0 = -273 + \frac{273+e}{273+100}(273-79) \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Die Formeln (1) und (2) werden dann:

$$\frac{t_a - e}{t_b - e} = \frac{a^{\frac{1}{3}} - 760^{\frac{1}{3}}}{b^{\frac{1}{3}} - 760^{\frac{1}{3}}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

und

$$\frac{t_a - t_0}{t_b - t_0} = \frac{a^{\frac{1}{3}}}{b^{\frac{1}{3}}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Rotterdam d. 1. Aug. 1857.

XIV. *Entgegnung auf eine Bemerkung von Hrn. Hoppe; von F. Eisenlohr.*

In einem kürzlich in diesen Annalen Bd. CIV S. 279 erschienenen Aufsatze bekämpft Hr. Hoppe eine Stelle in meiner Besprechung eines Werkes von Redtenbacher (Kritische Zeitschrift für Chemie etc. I S. 56). Ich würde auf diesen Einwand nicht eingegangen seyn, da er nur einen Nebenpunkt jener Besprechung betrifft und aufserdem der dort gegebene Beweis viel gründlicher von Anderen geführt ist; wenn ich nicht ein Mifsverständnifs berichtigen müfste. Hr. Hoppe sagt, ich hätte an jener Stelle gegen Redtenbacher die Thatsache angeführt, dafs eine Luftmasse aus der Ferne keinen merkbaren Einflufs auf eine andere ausübe. Diefs ist richtig; mit Unrecht fügt er aber hinzu, dafs ich aus jener Thatsache folgere, dafs eine Abstofsung der Luftatome überhaupt nicht stattfinde. Vielmehr widerlege ich damit nur das Gesetz, wie es Redtenbacher, und

zwar für jede beliebige Entfernung, aufgestellt, dafs die Abstofsung der Gastheilchen gegen einander ihrer Entfernung umgekehrt proportional sey. Wenn unmittelbar nachher die Behauptung folgt, dafs die Elasticität der Gase nicht durch eine Abstofsung, sondern nur durch die sehr rasche Bewegung der Theilchen erklärt werden könne, so habe ich dieselbe nicht aus jener Thatsache abgeleitet, sondern den Beweis dafür in wenigen Worten hinzugefügt, welche Hr. Hoppe übersehen zu haben scheint. Ich habe nämlich a. a. O. die Aufsätze angeführt, durch welche der Satz festgestellt wurde, dafs die zum Zusammendrücken eines Gases verwandte Arbeit vollkommen durch die dabei frei werdende Wärme ersetzt wird; während doch, wenn eine Abstofsung der Theilchen die Ursache der Elasticität wäre, ein Theil der geleisteten Arbeit zur Ueberwindung dieser Abstofsung, und nur der übrigbleibende Theil dazu dienen könnte, um die Geschwindigkeit der Theilchen zu vermehren, d. h. um Wärme zu entwickeln.

Heidelberg den 26. August 1858.

XV. *Reclamation; von K. W. Knochenhauer.*

In dies. Annal. Bd. CIV S. 84 stellt Bauschinger nach den bisherigen Versuchen mit Scheiben den Vertheilungscoëfficienten m unter der Formel $m = \frac{1}{1+ad}$ dar, worin a eine Constante und d die Distanz der Scheiben bezeichnet. Dieselbe Formel habe ich bereits seit längerer Zeit (s. Beitr. zur Elektricitätslehre, Berlin, G. Reimer S. 79) unter der Form $m = \frac{a}{b+x}$ angegeben, wo x die Distanz der Scheiben und a und b Constanten bedeuten. Bei meinen Scheiben war, wenn x in Linien gemessen wird, $a = 37$ und $b = 37\frac{1}{7}$, also nahe $a = b$ und somit $m = \frac{1}{1+0{,}027x}$. Wie

man an der angeführten Stelle auch sehen wird, habe ich meine frühere Formel, die Bauschinger S. 64 citirt, bereits selbst zurückgenommen, nicht aber meine Versuche trotz Müller's Kritik, da der von ihm angegebene Gegenversuch unter ganzen anderen, mir durchaus fremdartigen Bedingungen angestellt worden ist.

Meiningen den 14. Juli 1858.

XVI. *Ueber die Feuerkugel vom 4. August d. J.*

(Aus einem Briefe des Dr. Saufse an Prof. Dove.)

Guben 4. Aug. 1858 Abends 11 Uhr.

Ich beeile mich Sie zu benachrichtigen, dafs ich so eben Abends 10 Uhr 6 Min. eine so genannte Feuerkugel gesehen habe. Sie bewegte sich von NW nach NO, beschrieb in $1\frac{1}{7}$ Sekunden Zeit einen Bogen, dessen Sehne eine scheinbare Länge von 20 Graden und dessen höchster Punkt eine Höhe von 28 bis 30 Graden über dem nördlichen Theil des Horizonts hatte, und erhellte auf die angegebene Zeit die Gegend mit einem prächtig glänzenden hellgelben Lichte. Der scheinbare Durchmesser betrug 10 Minuten; der nachgezogene Schweif kaum 2 Grade. Ein Geräusch habe ich nicht gehört. Der Himmel war heiter, völlig wolkenlos. Mein Hausgenosse, welcher dem Fenster den Rücken zukehrte, wähnte von einem Blitze geblendet worden zu seyn. Die mitgetheilten Abschätzungen sind um so sicherer, als ich sie von dem Fenster meines Wohnzimmers aus unter einer mir genau bekannten Umgebung gemacht habe. Wahrscheinlich würde ich von der herrlichen Erscheinung kaum mehr als den Lichtglanz wahrgenommen haben, wenn mich nicht, nachdem ich mit meinen Witterungsbeobachtungen fertig war, der prachtvolle Sternenhimmel durch seinen Anblick gefesselt hätte.

Dieselbe Feuerkugel ist im nordöstlichen Deutschland und in Preufsen an vielen Orten gesehen worden, so namentlich in Berlin, Magdeburg, Stettin, Oderberg, Strafsburg (Ukermark), Schwerin, (Meklenburg), Wustrow auf Fischland (Meklenb.), Neustadt bei Posen, Elbing, Königsberg in Preufsen, u. a. m.

Von Berlin berichtet die Vossische Zeitung: Am Mittwoch Abend gegen 10 Uhr bemerkte man an dem südlichen Himmel unserer Stadt eine Feuerkugel, wie solche selten in solcher Schönheit wahrgenommen werden dürfte. Sie nahm ihre Richtung von Nordwest nach Südost und hatte für den Zuschauer einen Durchmesser von ungefähr $2\frac{1}{2}$ Zoll und einen Schweif von 4 bis 5 Fufs Länge; der letztere strahlte in purpurrothem Lichte und sprühte lebhaft Funken, während der Kern selbst in starkem blauweifsem Lichte glänzte. Ihr Erscheinen währte ungefähr einen Zeitraum von 7 bis 8 Sekunden und sie verbreitete während dieser Zeit ein so intensives Licht, dafs man in ihrem Scheine Gedrucktes vollkommen zu lesen vermogte. Ein Geräusch wurde während der ganzen Erscheinung nicht wahrgenommen, ebenso wenig ein Knall bei dem Moment des Verschwindens der Kugel selbst. Das Erlöschen der Kugel erfolgte etwa 30° über dem Horizonte.

Und in einer späteren Nummer giebt sie aus Oderberg folgende Nachricht:

Das am 4. Abends hier gesehene Meteor ist auch in Oderberg und dessen Umgegend beobachtet worden. Man berichtet uns darüber; es habe eine Helligkeit verbreitet, welche die kleinsten Gegenstände deutlich erkennen liefs, dergestalt, als wäre die ganze Gegend von einer bengalischen Flamme hell erleuchtet; so dafs die Leute erschrocken aus den Häusern stürzten und glaubten in unmittelbarer Nähe sey eine Feuerbrunst ausgebrochen. Ueberall will man ein knisterndes Geräusch und ein Funkensprühen, wie bei einer Rakete, und einen zurückbleibenden hellen Lichtstreifen wahrgenommen haben. Die Sprühfunken erschienen theils in rothem, theils in gelblichem Lichte. Hier in Oder-

berg hat man während der höchstens fünf Sekunden langen Beobachtung bei jedesmaligem scheinbaren Zerplatzen des Meteors eine zweimalige Veränderung der Richtung wahrgenommen; in Gollmersdorf dagegen bemerkte man bei gleichfalls scheinbarem Platzen und Fallen der Kugel, in der Richtung nach Schwedt zu, drei von derselben ausgehende rothe Feuerstrahlen, zwei nach den Seiten und einen nach unten. Auch hörte man dort ein paar Minuten nach dem Verschwinden desselben in der Richtung von Nordosten her bei heiterem Himmal einen dumpfen starken Knall, wie derjenige einer Kanone von schwerem Kaliber. Auch hier will man auf dem Wasser nach dem Verschwinden des Meteors einen dumpfen Knall gehört haben. Von Netzdorf am Liepnitz-See berichtet man über dieselbe Erscheinung: sie habe etwa in 45° Höhe fast senkrecht unter dem Polarstern begonnen und 20° hoch senkrecht unter der Kassiopeja geendet. Am ganzen nördlichen Himmel waren um jene Zeit viele Sternschnuppen meist in gleicher Richtung erschienen.

Aehnlich lauten die Berichte aus den anderen Orten. An einigen derselben will man einen dumpfen Donner gehört haben (welcher auf das Herabfallen einer Meteormasse schliefsen liefse), doch beruht wohl diese Angabe, so wie die vom knisternden Geräusch, auf Täuschung.

XVII. *Ueber das specifische Gewicht des Eises; von Prof. Dr. Meister in Freising.*

Als ich dieser Tage Versuche mit der Luftpumpe anstellte, bemerkte ich, dafs Wasser in zu den Versuchen bereit gehaltenen Gläsern etwa 1″ dick gefroren war, und zeigte dieses Eis vielfache Blasen; da fiel mir bei, dieses Glas mit Wasser und Eis unter den Recipienten zu stellen, um

die etwa in den Blasen vorhandene Luft zum theilweisen Entweichen zu bringen. Die Folge war ein gänzliches Eintauchen des Eises ins Wasser, als ich nach einiger Zeit die Luft wieder in den Recipienten einströmen liefs, und kann also auf solche Weise aufs deutlichste nachgewiesen werden, warum das Wasser, wenn es in Eis verwandelt wird, schwimmt resp. schwimmen mufs [1]).

Die Thatsache jener Ausdehnung ist eine allbekannte, bekannt auch sind die ungeheuren Wirkungen, welche jene Ausdehnung in der Natur erzeugt; ob etwa auch der erwähnte elementare Versuch so allgemein bekannt sey, weifs ich nicht und glaubte daher ihn hier mittheilen zu müssen.

Freising im März 1858.

XVIII. *Ein Vorschlag zur Steuerung des Luftballons; von Prof. Dr. H. Emsmann.*

Mit einem Vorschlage, den Luftballon zu steuern, hervortreten, scheint gefährlich, weil man sich der Gefahr, den Phantasten hinzugezählt zu werden, aussetzt; indessen selbst auf diese Gefahr hin, halte ich mit meinem Vorschlage nicht zurück, weil derselbe mir nüchtern genug erscheint, um mich vor jener Gefahr zu schützen.

Nach meiner Ueberzeugung ist das einzige Mittel, den auf allen Seiten von demselben Medium eingeschlossenen Luftballon in einer bestimmten Richtung vorwärts zu treiben, ja selbst gegen den Wind mit demselben anzukämpfen, in dem Reactionsprincipe gegeben. Man denke sich einen kugelförmigen Ballon mit einer halbkugelförmigen, wenigstens im Querschnitte kreisförmigen, Gondel und an den Endpunkten eines um den Mittelpunkt drehbaren, in jeder Richtung feststellbaren Durchmessers dieser letzteren unter rechten Winkeln gleichgerichtete Raketen angebracht. Die Kraft

1) Alle neueren Versuche, namentlich die von C. Brunner (Ann. Bd. 64, S. 113), haben aber das spec. Gewicht selbst des luftfreien Eises *geringer* als das des Wassers ergeben. P.

der Raketen wird die Gondel in bestimmter Richtung vorwärts treiben und den Ballon mit fortreifsen.

Es käme also darauf an, die Raketen durch eine Vorrichtung zu ersetzen, welche nicht mit der Gefahr verbunden ist, welche den Feuer ausströmenden Raketen nicht abgesprochen werden kann. Diesen Ersatz sehe ich in einem raketenartigen, oder überhaupt in einem mit einer Ausströmungsöffnung versehenen Behälter, welcher mit *fester Kohlensäure* gefüllt ist. Da die feste Kohlensäure in gröfserer Menge mitgenommen werde könnte, so würde der Vorrath leicht selbst für eine längere Reise ausreichend seyn, zumal die Vorrichtung nur dann in Thätigkeit zu setzen seyn würde, wenn die Luftströmung, in welcher der Ballon sich befindet, nicht nach der Gegend hinführt, welche als Ziel gesetzt ist. Jedenfalls scheint mir diese Idee mehr des Versuchs werth, als so manche andere auf Ruder, Schrauben u. s. w. sich stützende. Die Kraft, mit welcher die feste Kohlensäure in den luftförmigen Aggregatszustand übergeht, ist bedeutend: eine kleine Menge fester Kohlensäure liefert ein grofses Volumen luftförmiger; zur Entwickelung der treibenden Kraft ist keine Hülfsmaschine in der Gondel erforderlich, wie es bei anderen Vorschlägen nöthig ist.

Wissenschaftlich interessante Stereoskopen-Bilder nach den Professoren Hessemer, Müller, Nörrenberg, Dr. Nell und Oppel,

zusammengestellt und zu haben

bei J. V. Albert Sohn.

Kunst- und Spielwaaren-Handlung in Frankfurt a. M.

Die erste Serie enthält bewegliche Bilder, astronomische Darstellungen, haploskopische, und Bilder für Stereoskope ohne Gläser und Spiegel, auch einige, die auf die Farbe

Bezug haben, u. s. w. 4 Fl., vollständiger 6 Fl. und 11 Fl. und noch höher.

Die zweite Serie: Zeichungen zum katoptrischen Stereoskop nach Prof. Hessemer, in Mappe 1 Fl. 30 Xr.

Gute Stereoskope zu 1 Fl. 30 Xr. bis 6 Fl., nach neuster Verbesserung, Spiegel-Stereoskope und Stereoskope ohne Gläser und Spiegel 1 Fl. 30 Xr. und 2 Fl. 30 Xr.

Eine reiche Auswahl der interessantesten Stereoskopen, Bilder und Ansichten aus allen Welttheilen auf Papier und Glas, Stück 15 Xr. bis 3 Fl. 30 Xr.

Ein Daguerreotypbild, auf dem man deutlich wahrnimmt, dafs die verschiedenen Gegenstände von verschiedenen Stoffen sind, und man meistens die Stoffe durch ihren eigenthümlichen Schiller und ihre Farbe erkennt.

Bewegliche Stereoskopenbilder, wo durch Verschieben einzelner Theile der Figur, dieselbe bald in Vertiefung, bald in Erhöhung verändert sich darstellt, nach Hessemer, Müller und Halske.

Ein dergleichen sich in entgegengesetzter Richtung drehendes Bild, welches sichtbar sich vertieft und erhöht, nach Prof. Nörrenberg.

Einige haploskopische Bilder mit Lichteffect fürs Stereoskop ohne Gläser und Spiegel, nach Dr. Oppel, unter verschiedenen Sehwinkeln und von unendlicher Ferne gesehen.

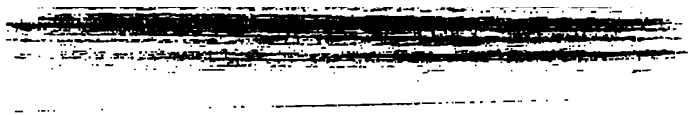
Einige stereoskopische Zeichnungen ohne Stereoskop zu gebrauchen, auch verschiebbare, die sich vertieft oder erhaben zeigen.

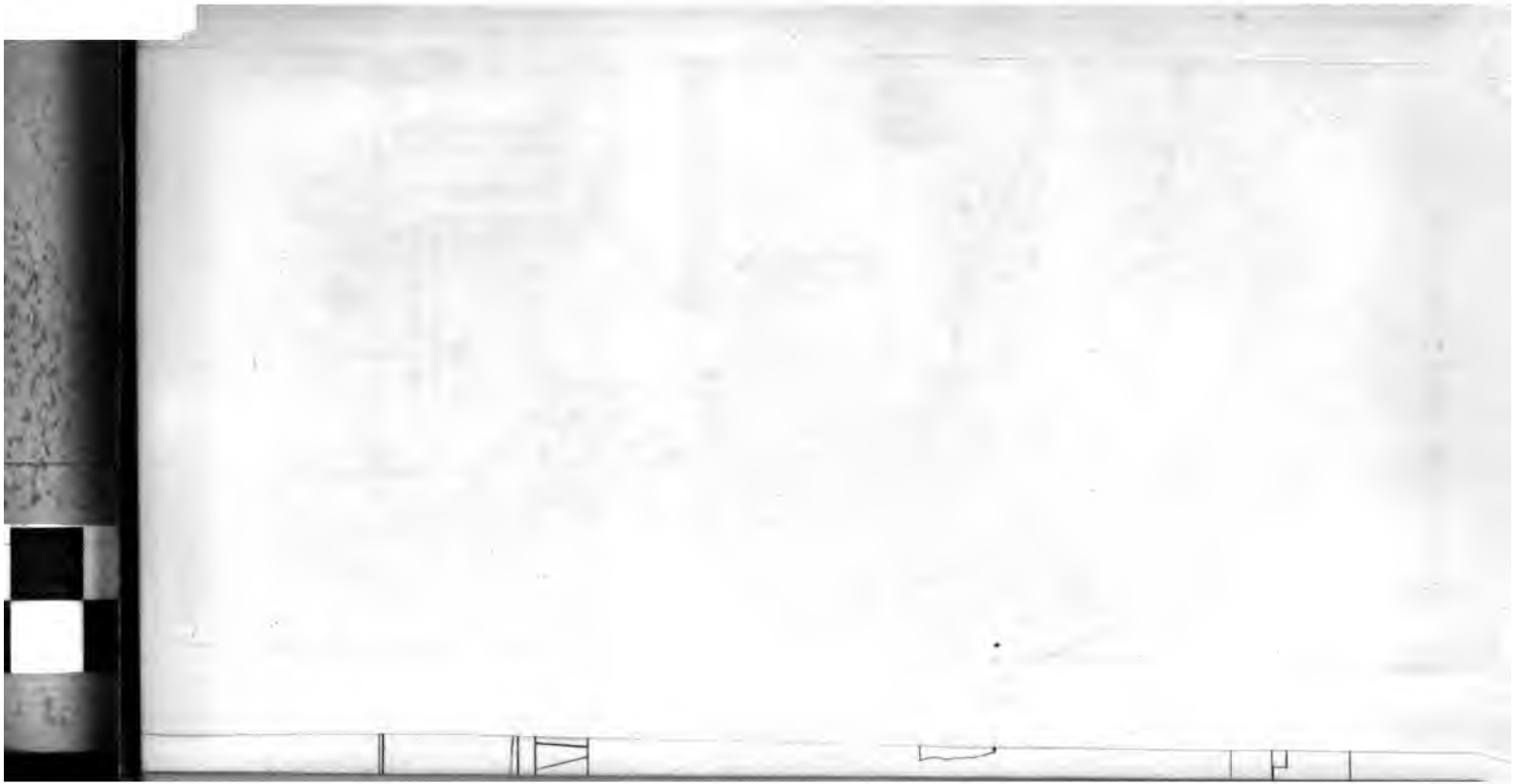
Einige Bilder mit Anwendung für Krystallographie, dergleichen mit astronomischen Darstellungen und sphärischer Trigonometrie, nach Dr. Nell. Ueberhaupt alle neueren und andere optische Apparate besonders für Fluorescenz, Dispersion, Polarisation und Interferenz des Lichtes, Dichroïsmus, Mikroskopie u. dergl.

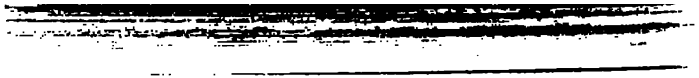
Preislisten werden gratis und franco zugesandt.

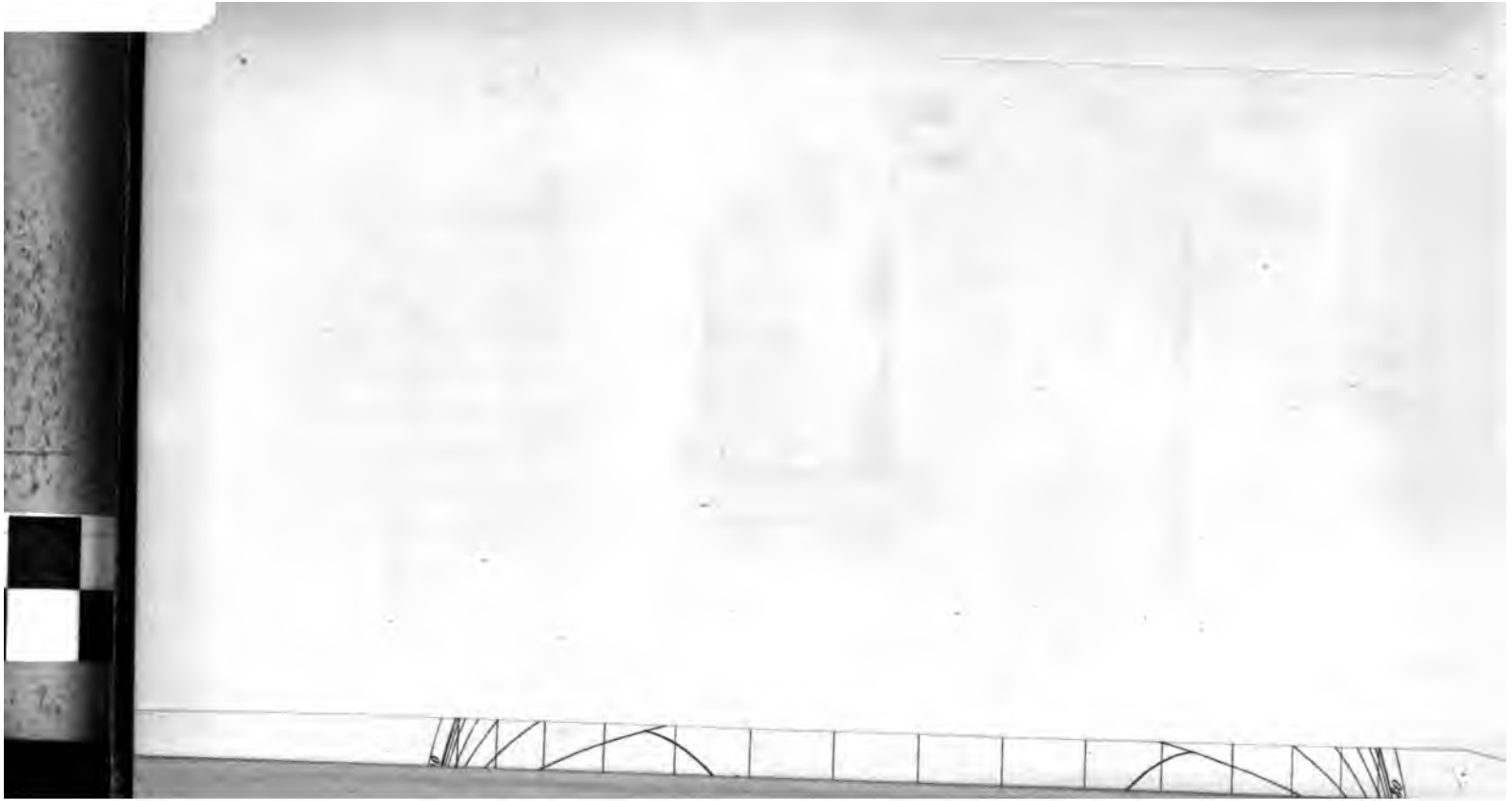
Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Grünstraße 18.

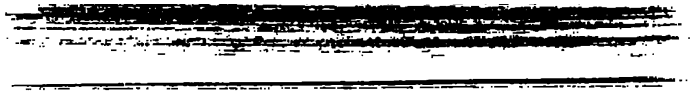
Sn
MgJ
MgBr
MgCl
me

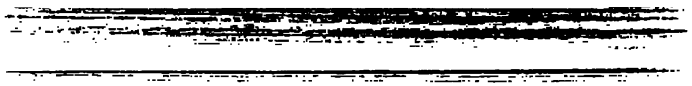


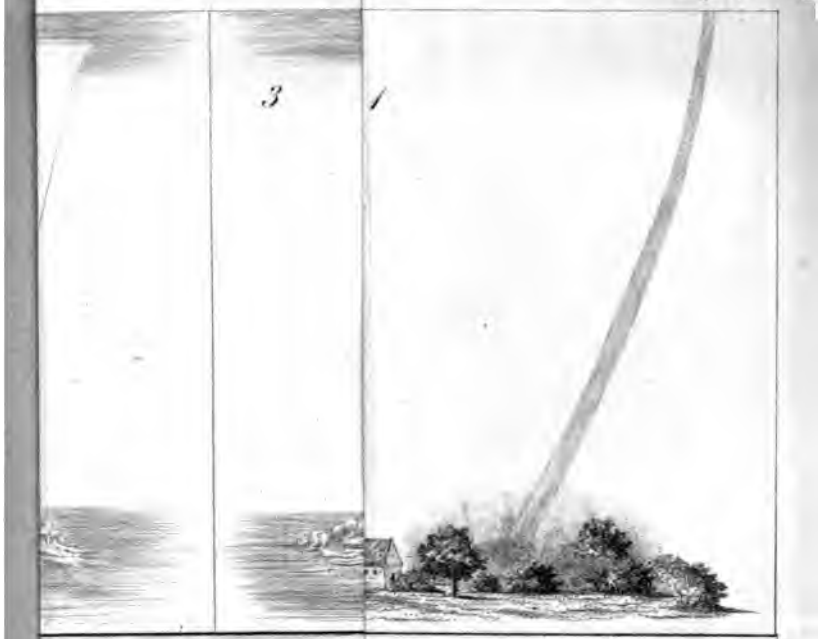


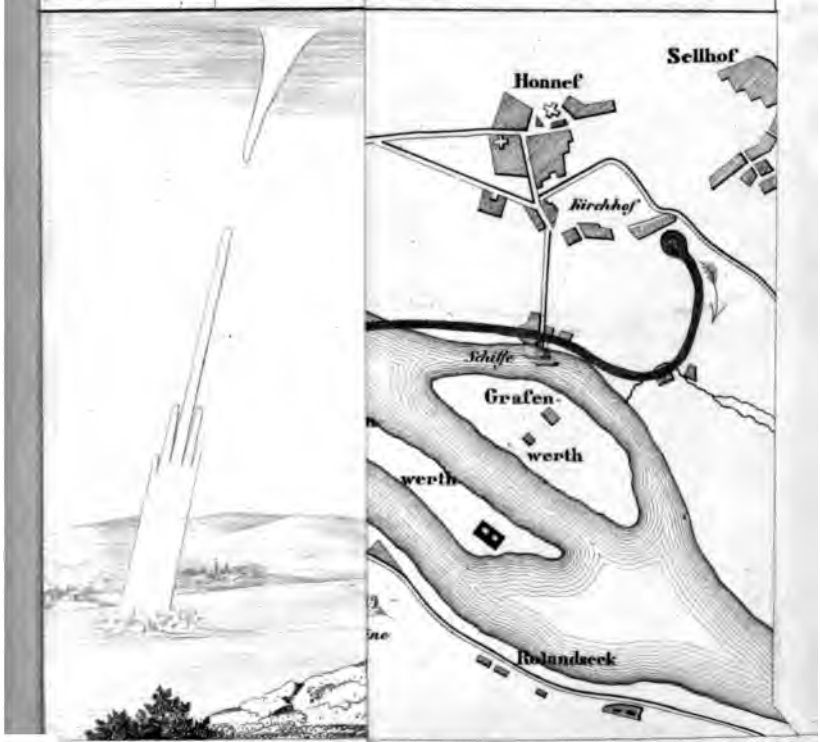


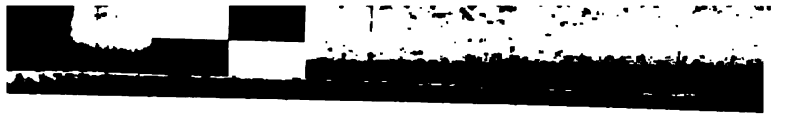


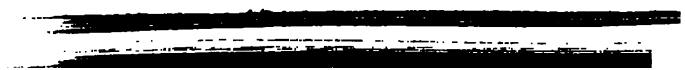





3
1


Sellhof
Honnef
Kirchhof
Schiffe
Grafen-
werth
werth
Rolandseck





PHYSICS
530.5
A613
v.104
1858